



Αρ. Πρωτ. 1565
12-10-80

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΩΣ/ΕΜΠ-ΟΑΣΠ:

ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ
ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕΝΗ ΕΝΤΑΣΗ

Β' ΜΕΡΟΣ

10. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΥΡΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

10.1 Διαμήκης οπλισμός

Χαρακτηριστικές κατανομές παραμορφώσεων $[\epsilon_s]$ κατά μήκος των ακραίων διαμήκων οπλισμών των δοκών της παρούσας έρευνας φαίνονται στα Σχ. 10.1-10.4. Τα διαγράμματα αυτά έχουν γίνει από μετρήσεις ηλεκτρομηκυνσιομέτρων στις θέσεις των ράβδων που σημειώνονται στο κάθε σχήμα. Όπως προβλέπεται και θεωρητικά (βλ. §1.2.2), οι ράβδοι εφελκύνονται σε όλο το μήκος-τους, εκτός από τον κύκλο $n = 1$ όπου για μικρές τιμές του φορτίου εμφανίζονται μικρές θλιπτικές παραμορφώσεις.

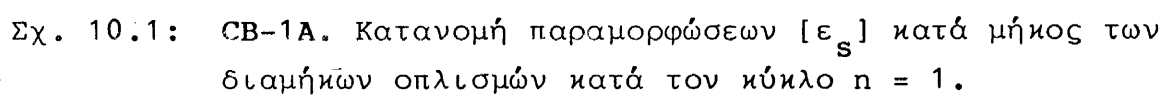
Είναι χαρακτηριστική η μεταβολή της κατανομής των $[\epsilon_s]$ μετά την διαγώνια ρηγμάτωση της δοκού (βλ. Σχ. 10.1,2α,3α). Η μεταβολή αυτή είναι εντονότερη στις δοκούς CB-A με τον μικρότερο λόγο διατμήσεως (βλ. Σχ. 10.1,2α) διότι σ'αυτές εμφανίζεται ρηγμάτωση κατά την κύρια διαγώνιο.

Οι εφελκυστικές παραμορφώσεις κατά μήκος των ράβδων αυξάνονται με την πάροδο των ανακυκλίσεων στην ίδια στάθμη επιβαλλόμενων μετακινήσεων και για ίδια τιμή του φορτίου. Η διαφορά στην κατανομή των $[\epsilon_s]$, η οποία είναι ιδιαιτέρως εμφανής μεταξύ $n = 1$ και $n = 2$, είναι εντονότερη σε χαμηλές στάθμες φορτίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τον πρώτο κύκλο φορτίσεως, σε μια στάθμη επιβαλλόμενων μετακινήσεων, για μικρές τιμές φορτίου η ρηγμάτωση δεν έχει ολοκληρωθεί. Έτσι, κατά τον κύκλο $n = 1$, η κατανομή των $[\epsilon_s]$ για μικρά φορτία αντιστοιχεί σε ελλiptή εικόνα ρηγματώσεως. Η κατανομή των $[\epsilon_s]$ για $n = 1$ "σταθεροποιείται" μετά την επέκταση της ρηγματώσεως, στις υψηλότερες στάθμες φορτίου.

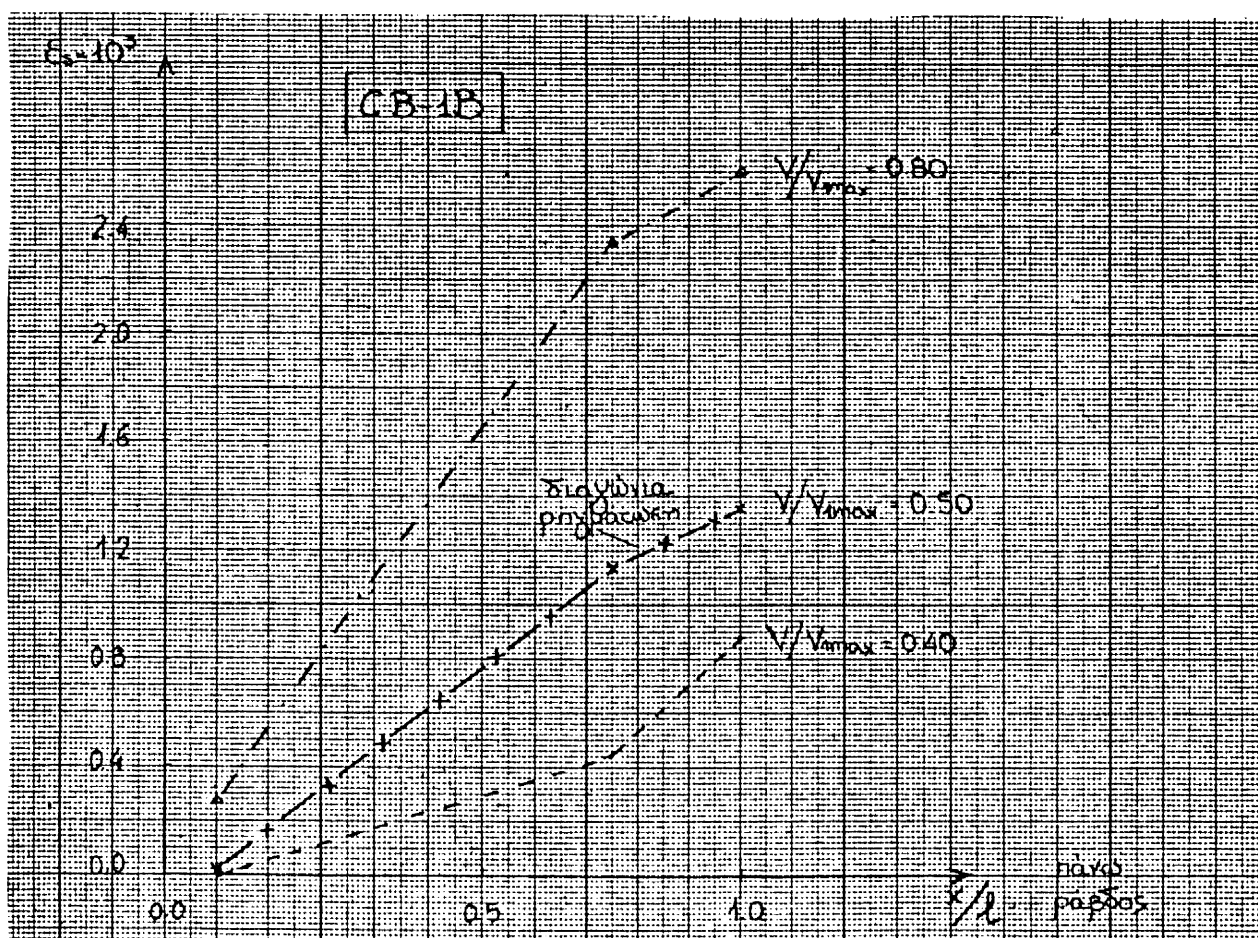
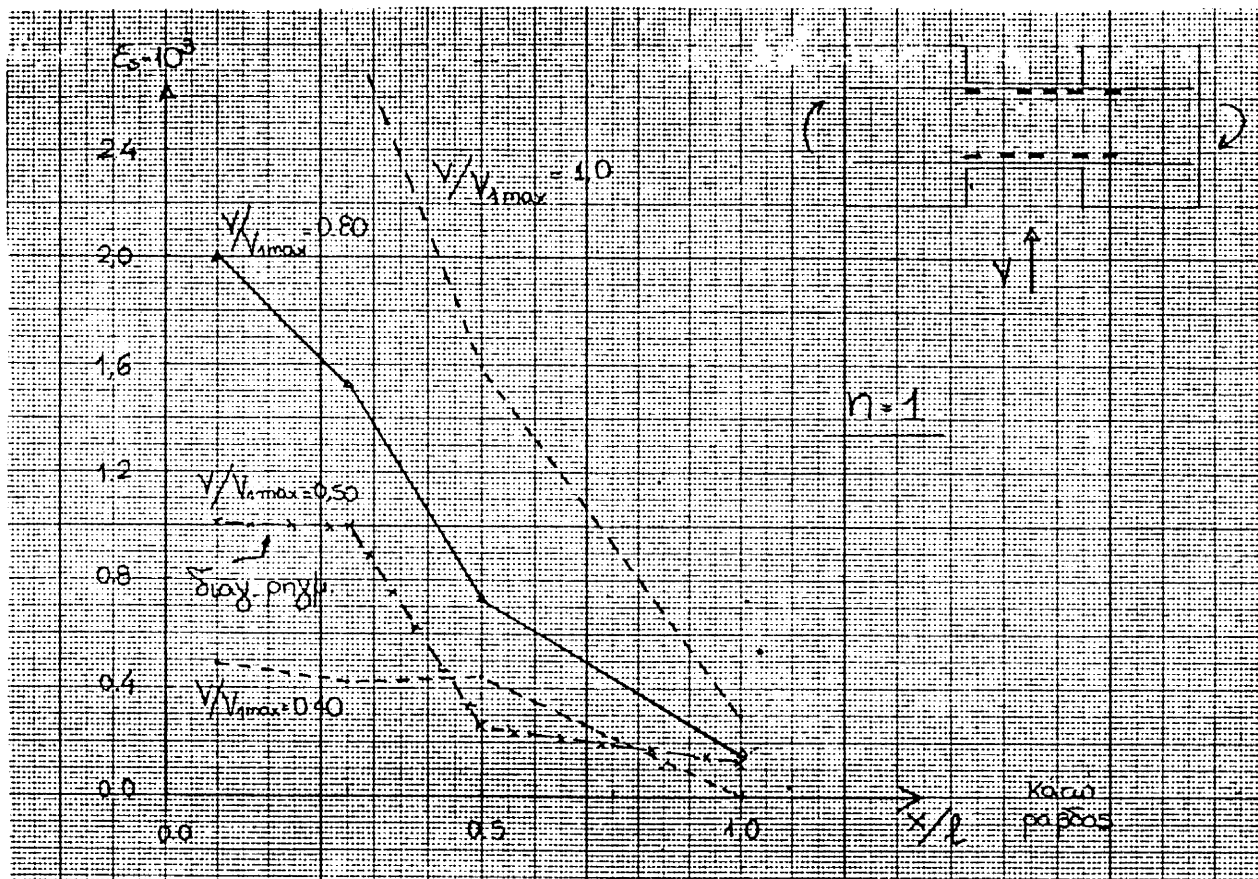
Στο Σχ. 10.5 φαίνεται ενδεικτικά η μεταβολή των " ϵ_s " σε σημείο του άνω οπλισμού της κλασικώς οπλισμένης δοκού CB-1A, συναρτήσεως των επιβαλλόμενων μετακινήσεων. Οι οπλισμοί εφελκύνονται ανεξαρτήτως της φοράς του φορτίου V . Πρέπει να παρατηρηθεί ότι σε κανονική δοκό στις θέσεις αυτές των οπλισμών θα αναμένονταν σημαντικές θλιπτικές παραμορφώσεις καθόσον, κατά την εναλλαγή του φορτίου, οι θέσεις αυτές αντιστοιχούν στη θλιβόμενη ζώνη της δοκού.

Η μεταβολή των παραμορφώσεων των ακραίων ράβδων οπλισμού των δοκιμίων CB-1,3,5 συναρτήσει του φορτίου φαίνεται στα Σχ. 10.6,7. Στην κάθε περίπτωση συντάσσονται τα διαγράμματα $V-\varepsilon_s$ για τους κύκλους $n = 4,7$, δηλαδή για τους πρώτους κύκλους στην κάθε στάθμη επιβαλλόμενων μετακινήσεων. Ο κύκλος $n = 1$ παραλείφθηκε διότι οι παραμορφώσεις των οπλισμών ήσαν πολύ μικρές. Για την κάθε θέση οπλισμού επιλέγονται οι ημικύκλοι στους οποίους η ράβδος εφελκύεται.

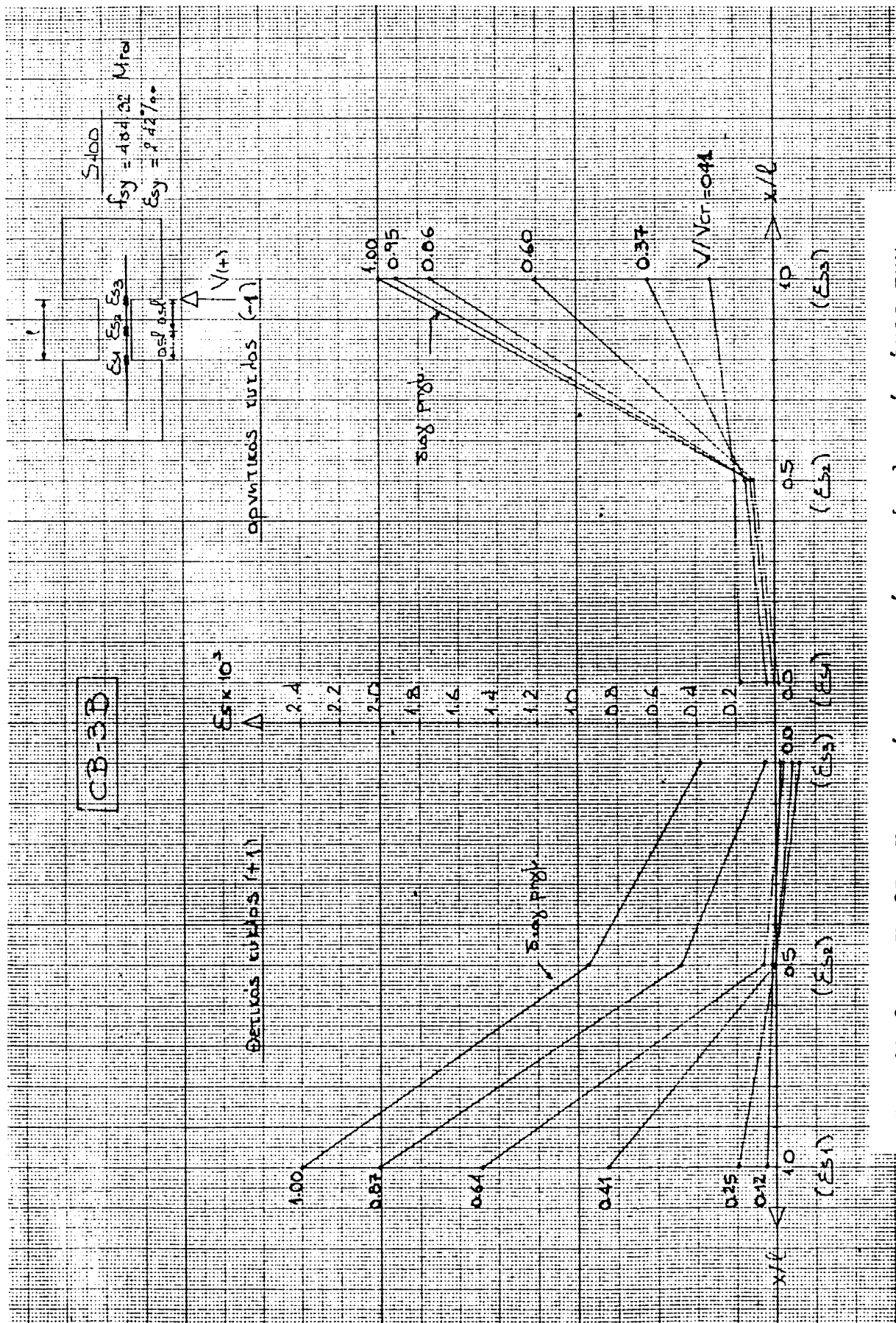
Παρατηρούμε ότι για τον κύκλο $n = 4$ ($\mu = 2$), στον οποίο μπορεί να γίνει σύγκριση και για τα τρία δοκίμια, οι οπλισμοί των δοκών με χιαστί οπλισμούς ή με βλήτρα στα άκρα-τους (CB-3,5) διαρρέουν σε μεγαλύτερα φορτία απ'ότι οι αντίστοιχοι των κλασικώς οπλισμένων δοκών. Αυτό οδηγεί σε αυξημένες τιμές παραμορφώσεων των οπλισμών των δοκών με κλασική όπλιση συγκριτικά με των άλλων δοκών, για την ίδια στάθμη φορτίου.



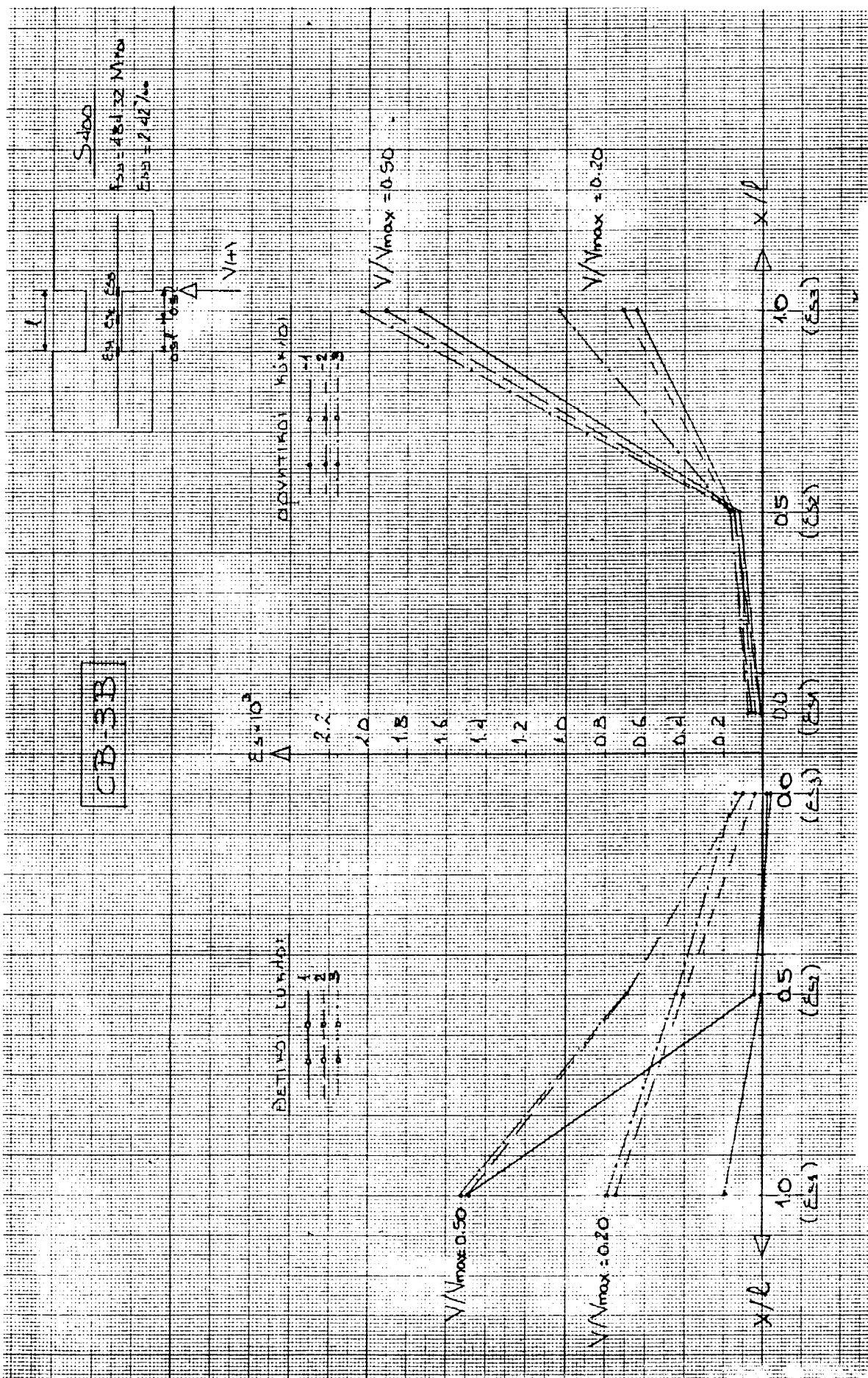
Σχ. 10.1: CB-1A. Κατανομή παραμορφώσεων $[\epsilon_s]$ κατά μήκος των διαμήκων οπλισμών κατά τον κύκλο $n = 1$.



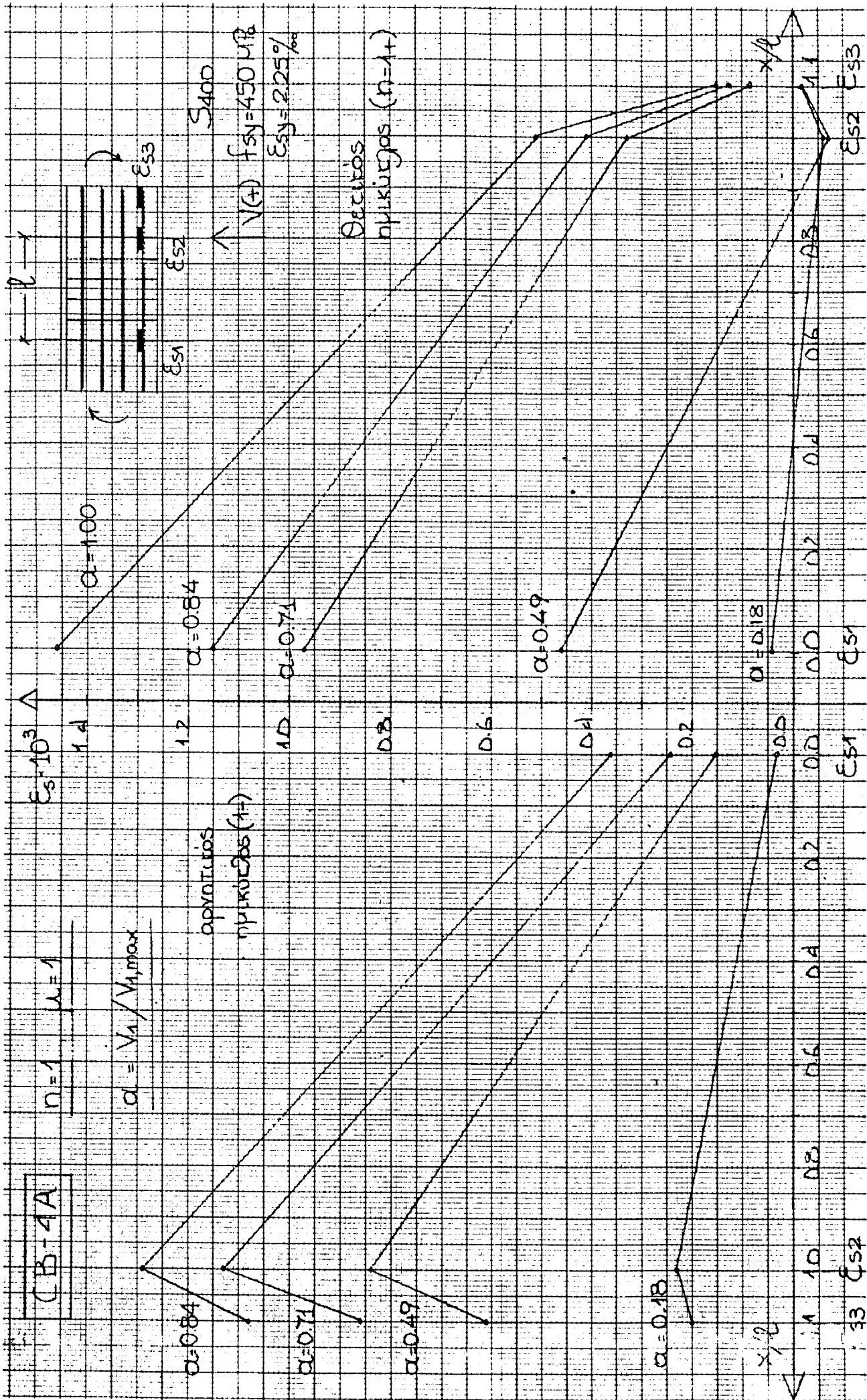
Σχ. 10.2α: CB-1B. Κατανομή παραμορφώσεων $[\epsilon_s]$ κατά μήκος των διαμήκων οπλισμών κατά τον κύκλο $n = 1$.



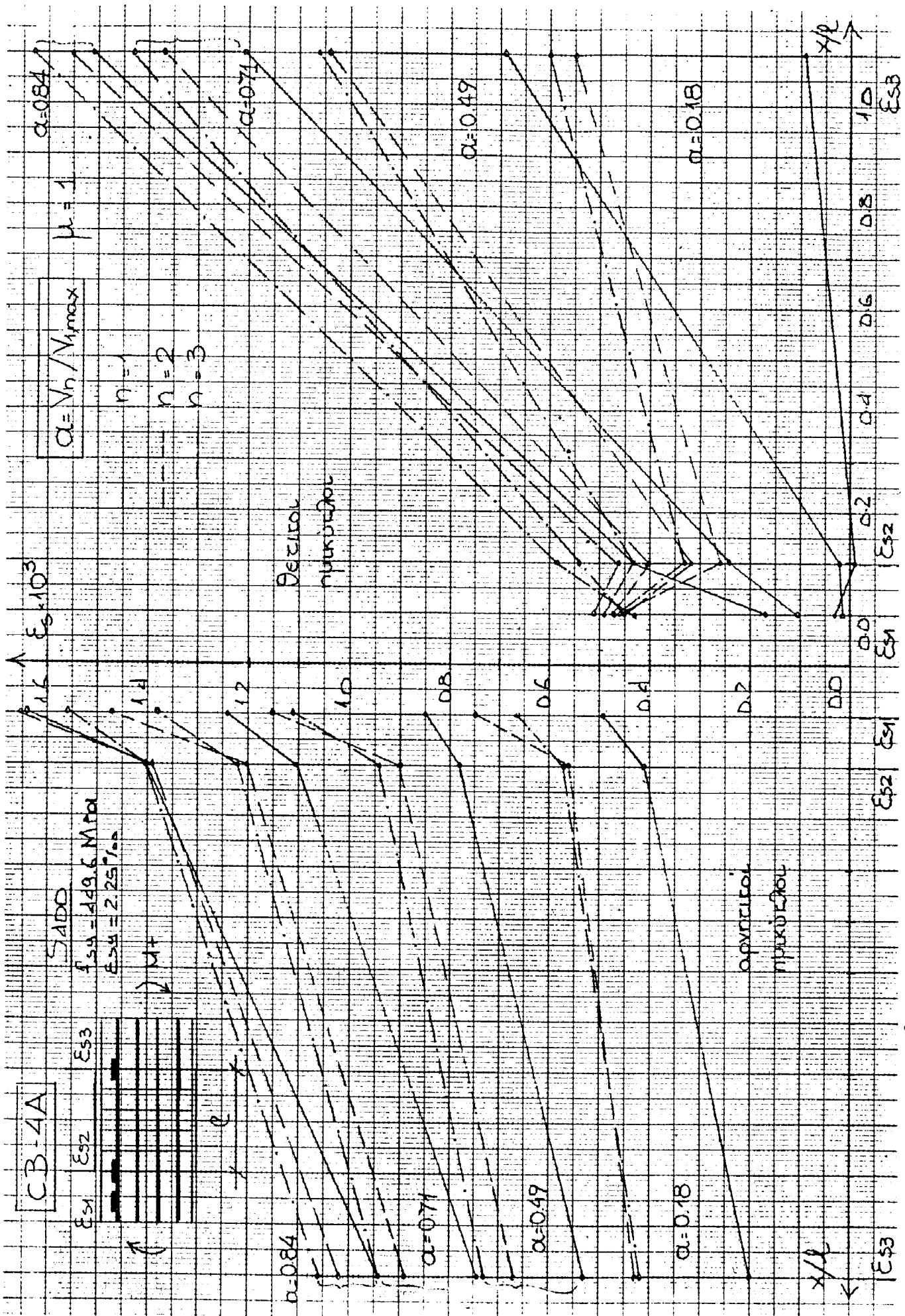
Σχ. 10.3α: CB-3B. Κατανομή παραμορφώσεων $[\epsilon_s]$ κατά μήκος των διαμέτρων οπλισμών κατά τον κύκλο $\eta = 1$.



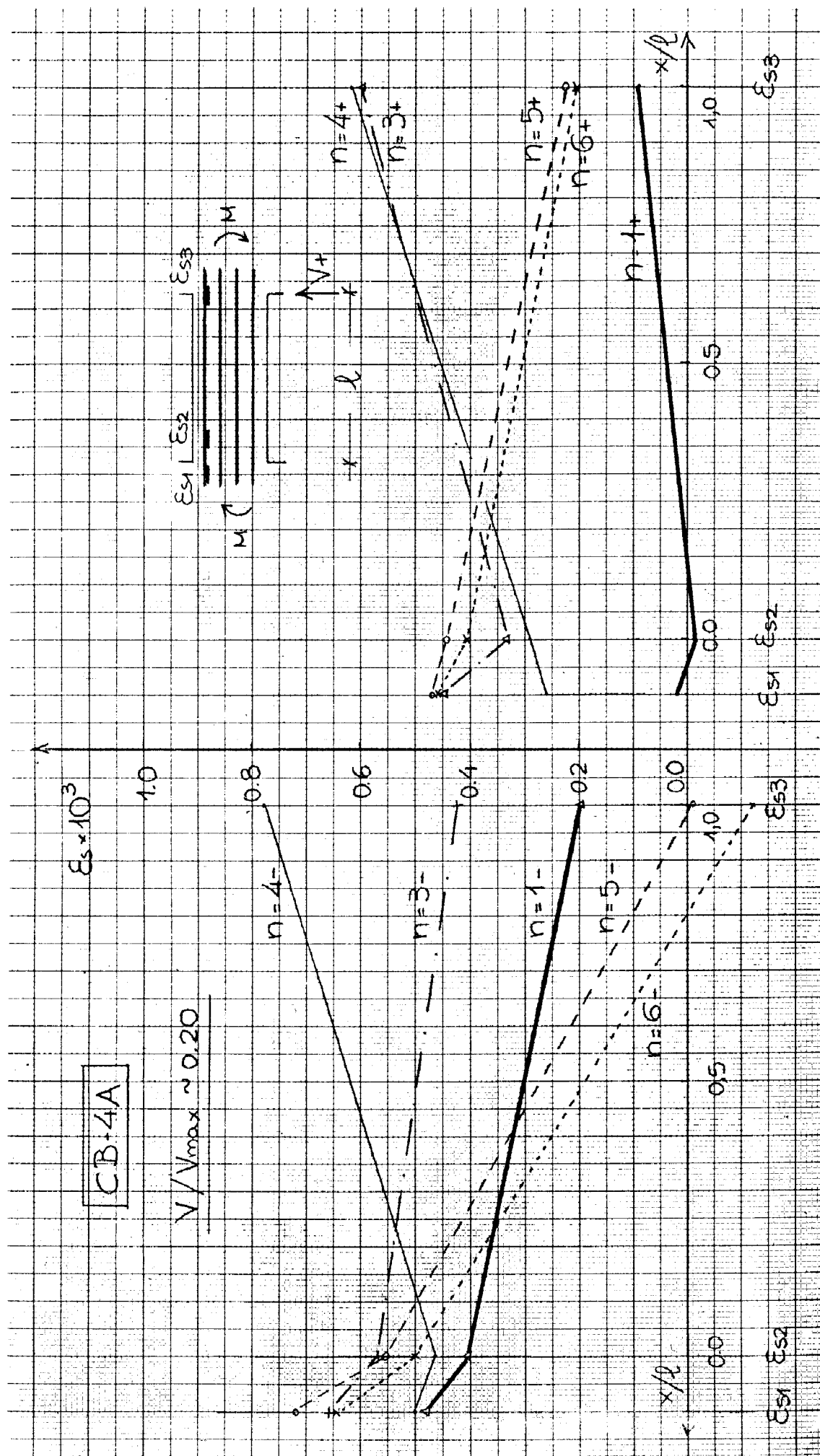
Σχ. 10.3β: CB-3B. Μεταβολή της κατανομής $[\epsilon_s]$ κατά μήκος των διαμέτρων οπλισμών λόγω των ανακυκλώσεων ($\mu = 1$).



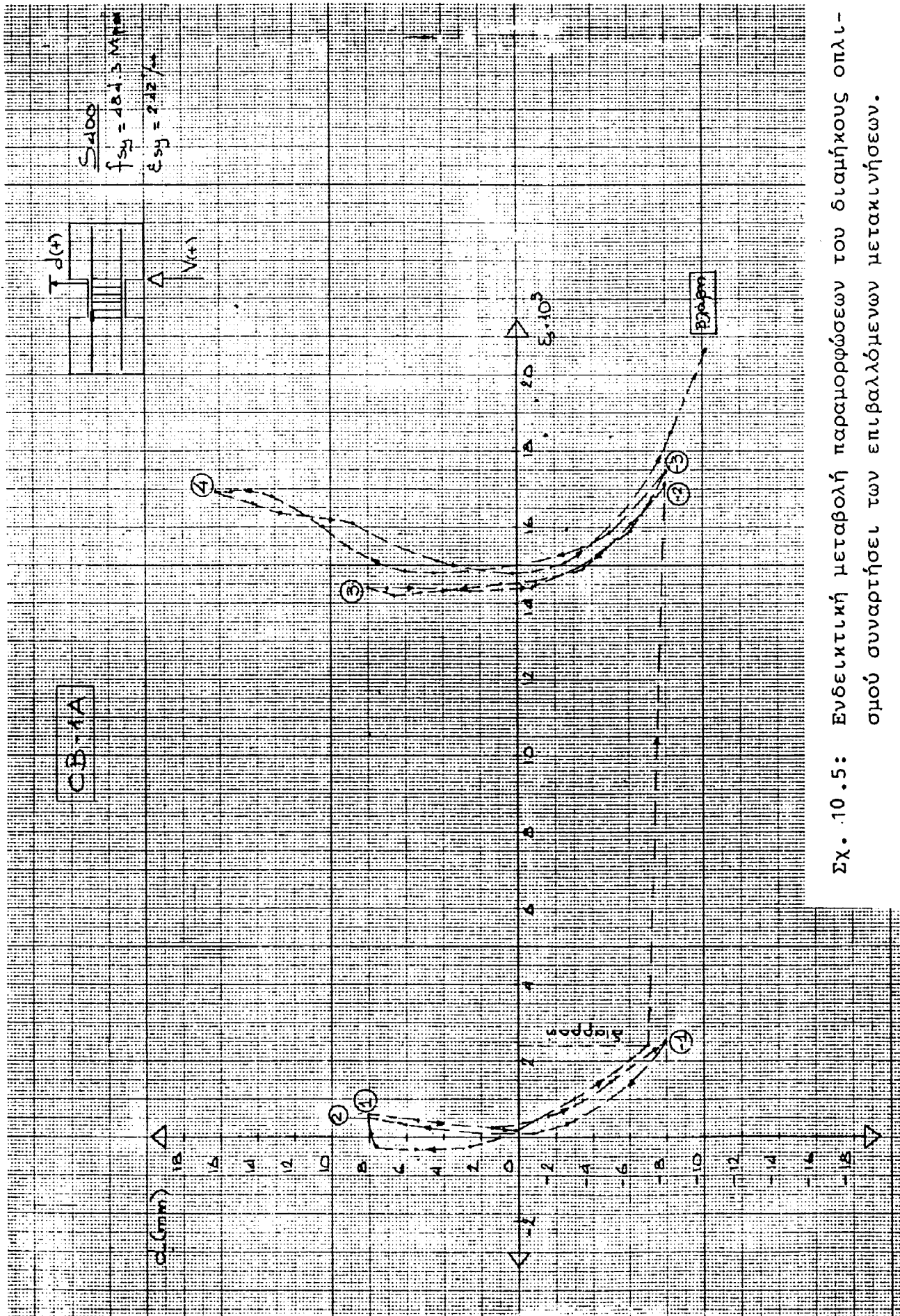
ΣΧ. 10.4α: CB-4A. Κατανομή παραμορφώσεων $[\epsilon_s]$ κατά μήκος των διαμήκων οπλισμών κατά τον κύκλο $n = 1$.



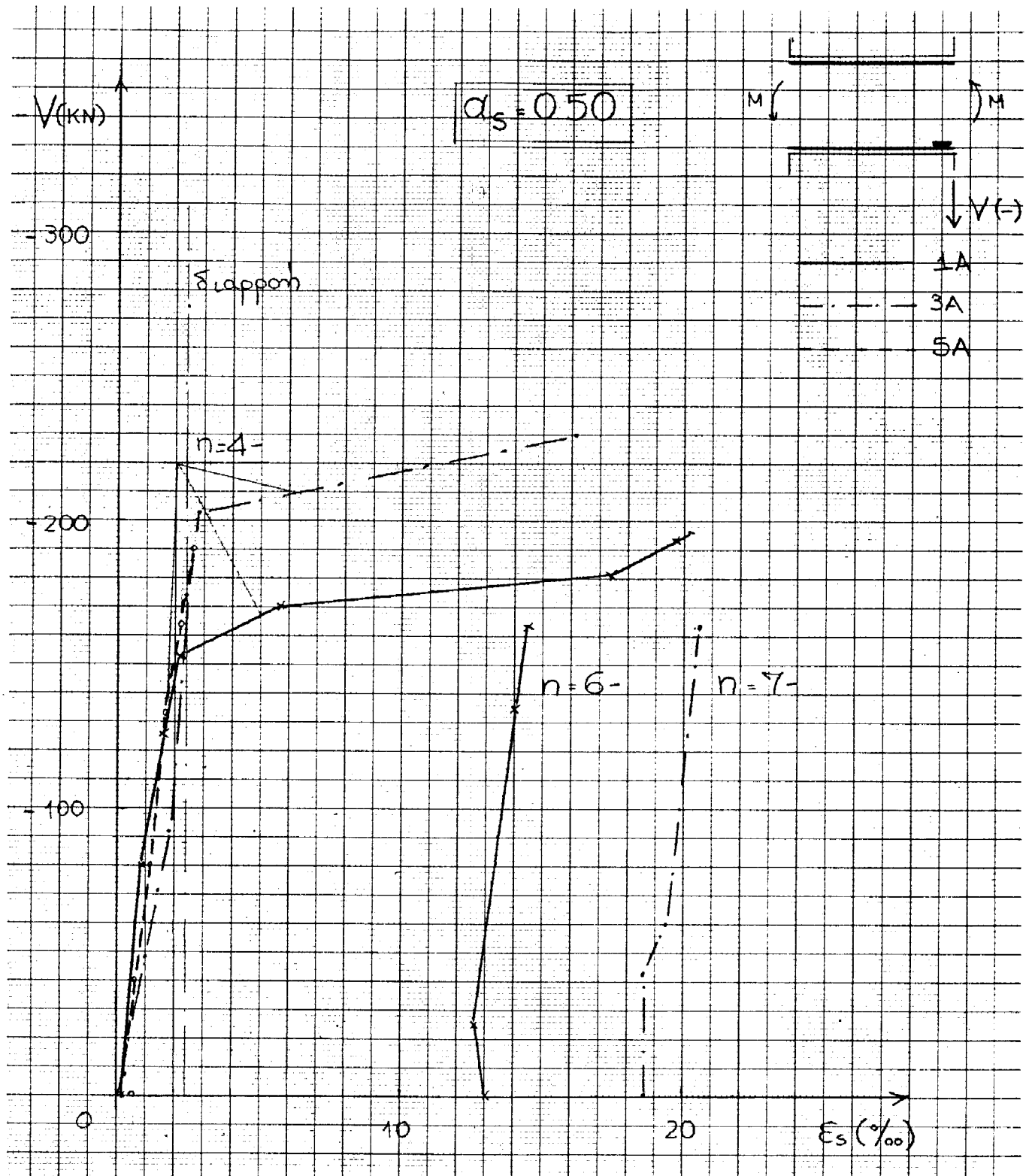
ΣΧ. 10.4γ: CB-4A. Μεταβολή της κατανομής $[\epsilon_s]$ κατά μήκος των διαμήκων οπλισμών λόγω των ανακυκλίσεων για $\mu = 1$ (άνω ράβδος).



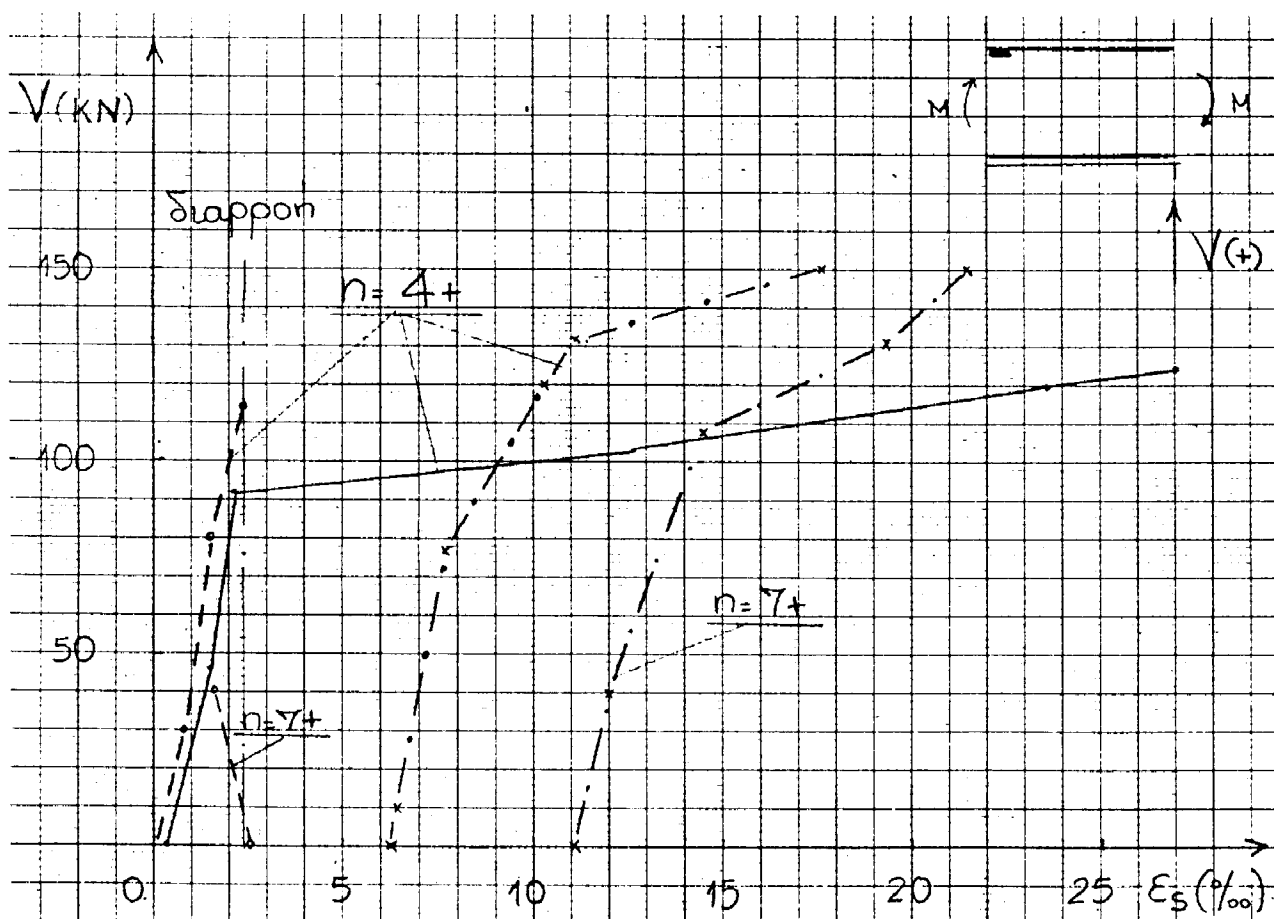
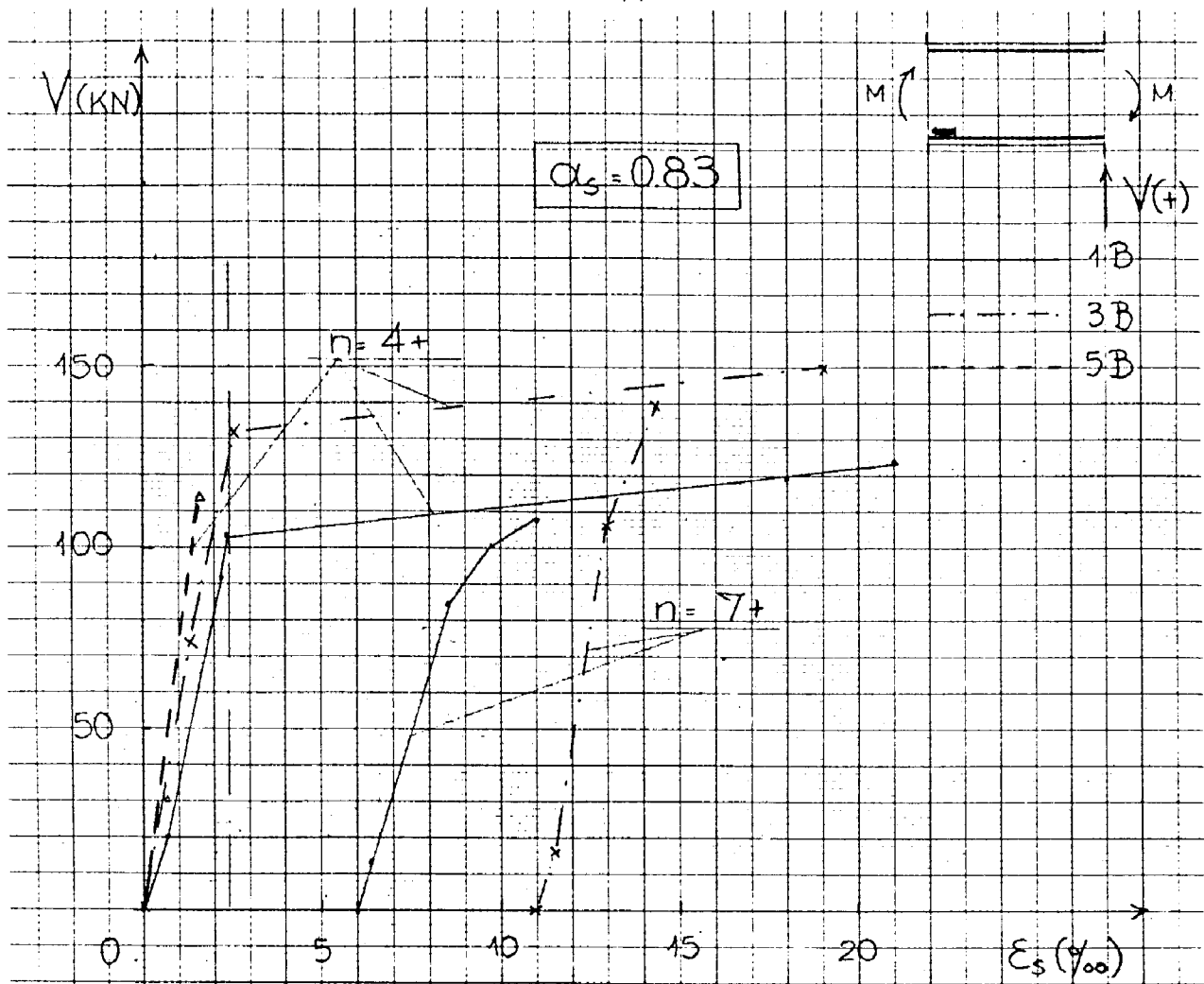
Σχ. 10.46: CB-4A. Μεταβολή της κατανομής $[\epsilon_s]$ κατά μήκος των διαμήκων όπλισμών λόγω των ανακυκλώσεων.



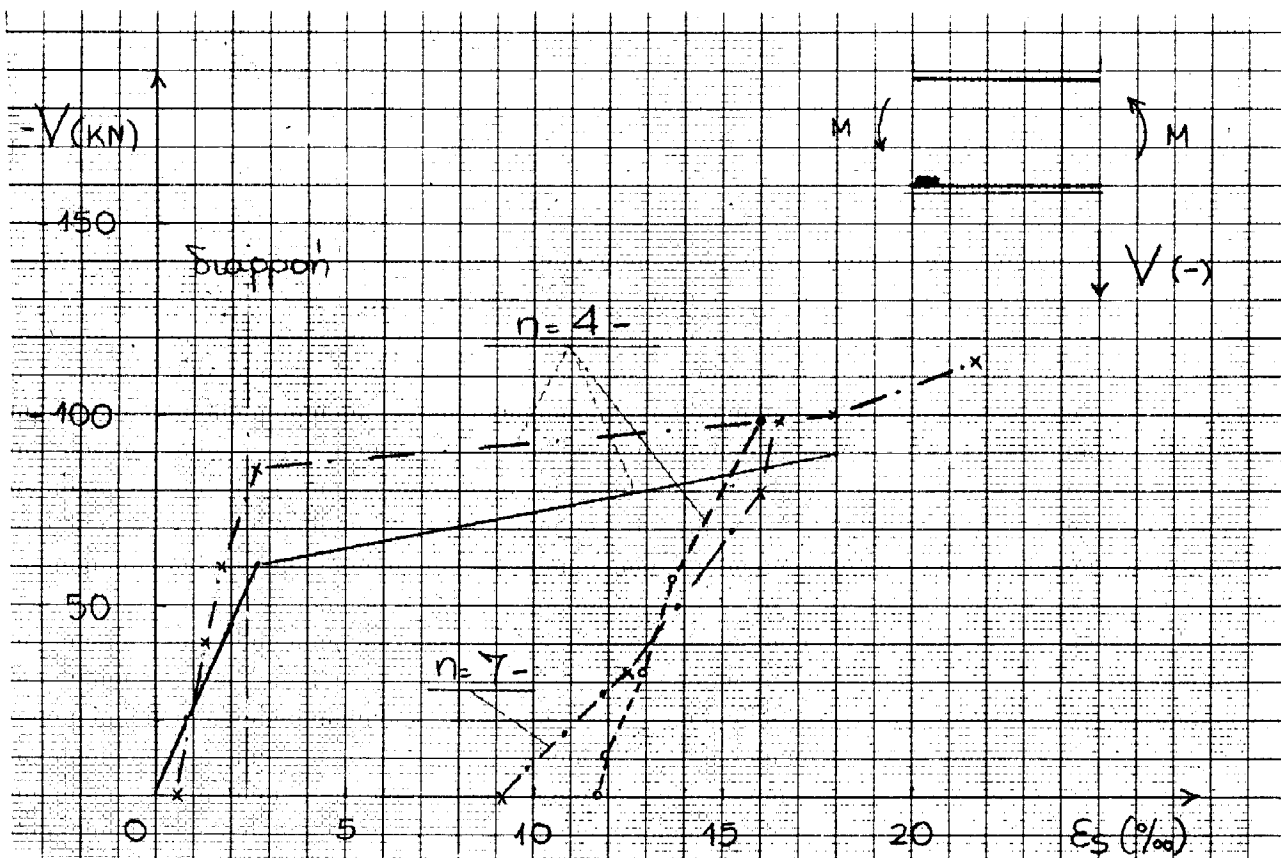
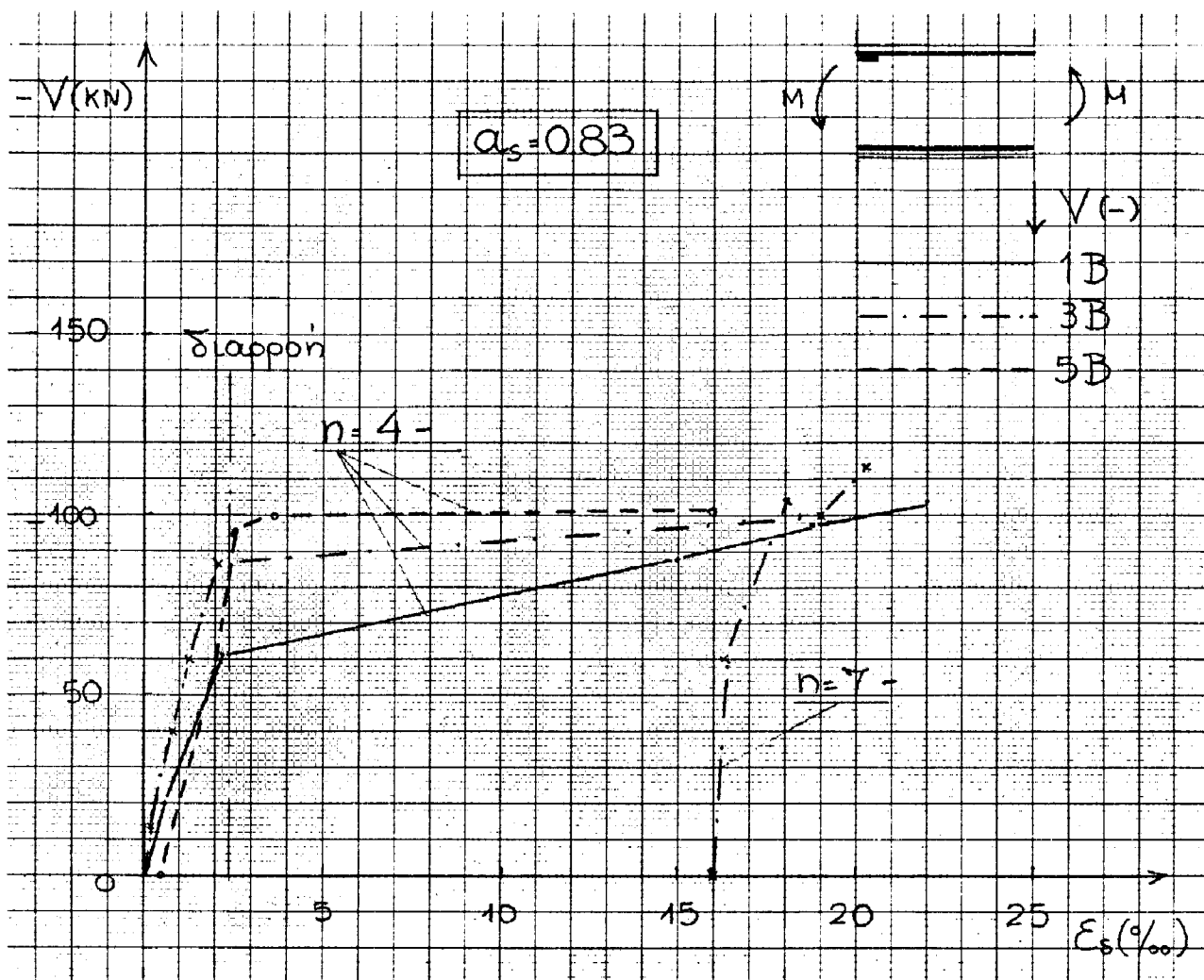
Σχ. 10.5: Ενδεικτική μεταβολή παραμορφώσεων του διαμήκους οπλισμού συναρτήσει των επιβαλλόμενων μετακινήσεων.



Σχ. 10.6: Διαγράμματα $V-\epsilon_s$ στο άκρο του διαμήκους οπλισμού ($\alpha_s = 0.50$).



Σχ. 10.7α,β: Διαγράμματα $V-\epsilon_s$ σε ακραίες θέσεις του διαμήκους οπλισμού ($\alpha_s = 0.83$).



Σχ. 10.7γ,δ: Διαγράμματα $V-\epsilon_s$ σε ακραίες θέσεις του διαμήκους οπλισμού ($\alpha_s = 0.83$).

10.2 ΔΙΑΓΩΝΙΟΙ ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΔΟΚΩΝ CB-2

Οι διαγώνιοι οπλισμοί στις δοκούς αυτές υπολογίστηκαν έτσι ώστε να παραλαμβάνουν εξ ολοκλήρου την ροπή και την τέμνουσα. Κατά την εξάντληση της αντοχής των δοκών θεωρείται ότι οι οπλισμοί κατά τη μία διαγώνιο διαρρέουν σε εφελκυσμό και κατά την άλλη σε θλίψη (πρβλ. §4.4.2, 1ης Εκθ. Προόδου).

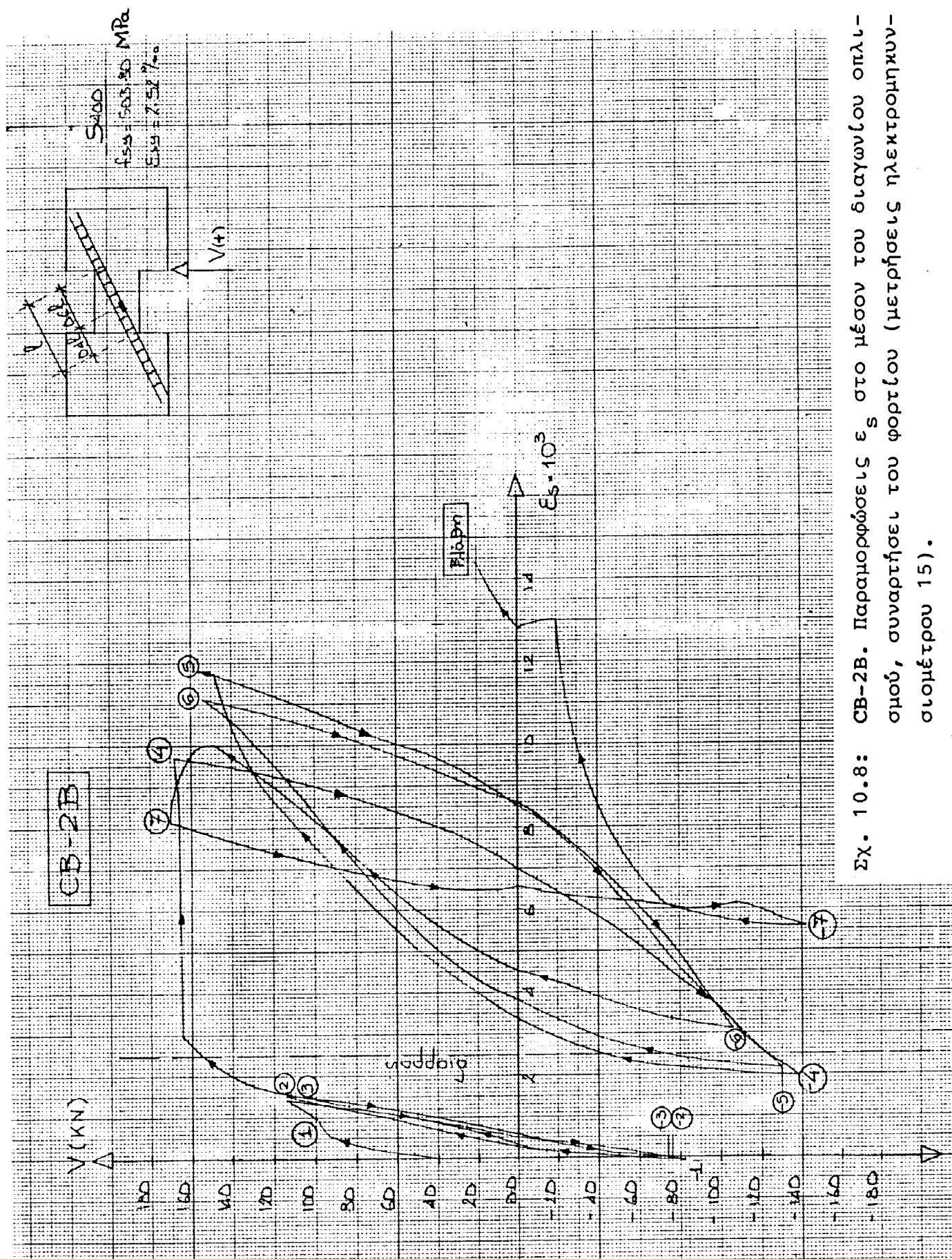
Στο Σχ. 10.8 παριστάνονται οι παραμορφώσεις (μετρήσεις ηλεκτρομηκυνσιομέτρων) στο μέσον μιάς διαγωνίου ράβδου οπλισμού, συναρτήσει του φορτίου.

Στα Σχ. 10.9α,β φαίνεται η μεταβολή των παραμορφώσεων δύο διαγωνίων ράβδων οπλισμού (κάτω δεξιό άκρο). Παρατηρούμε ότι κατά τον ημικύκλο 4+ (μέγιστη απόκριση δοκού) ενώ η μία ράβδος είχε παραμόρφωση $\epsilon_s = -100/100$, η άλλη ράβδος ούτε καν διέτρεψε σε θλίψη: $\epsilon_s = -1,20/100$ ($\epsilon_{sy} = 2,520/100$).

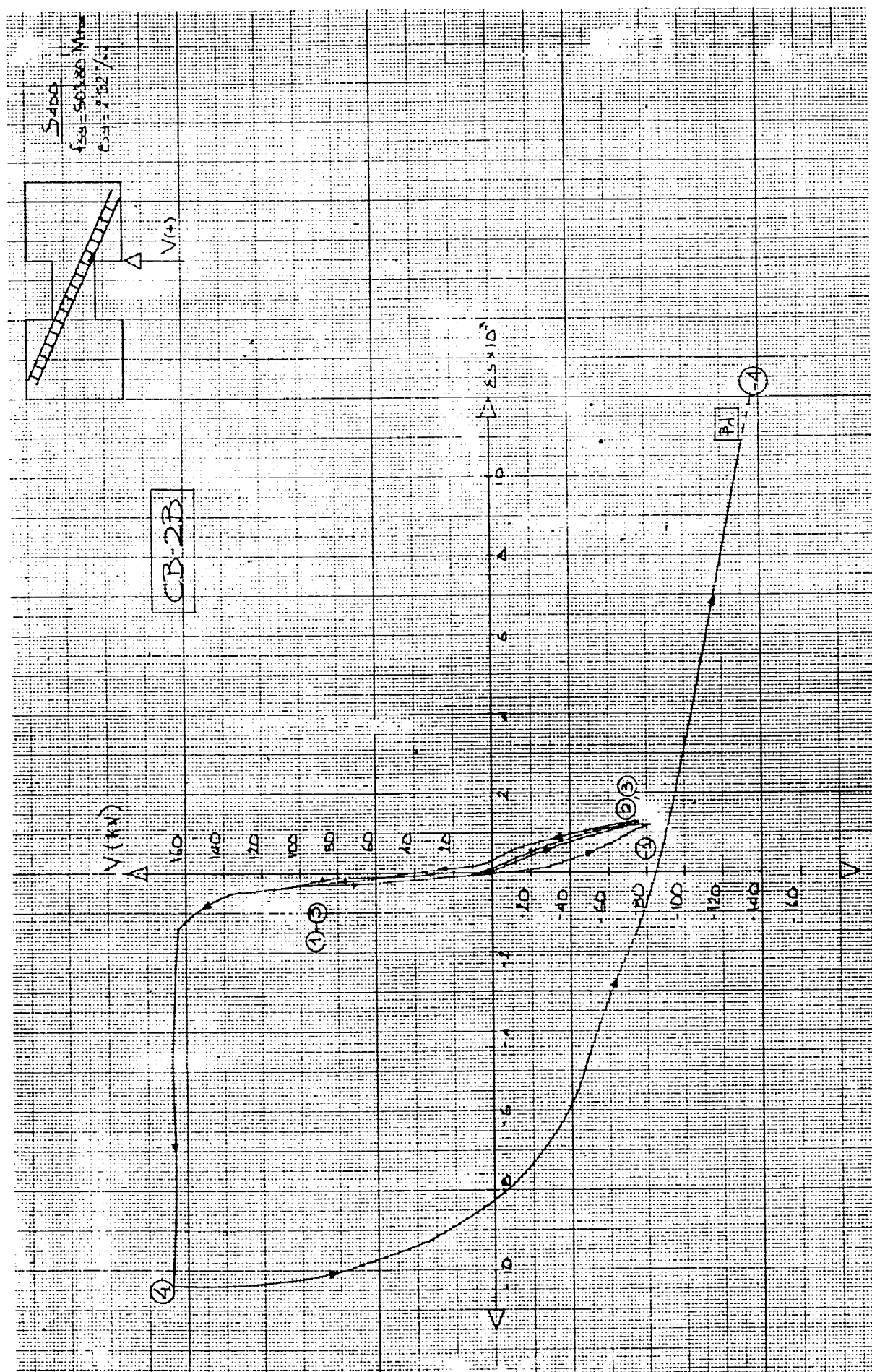
Στο Σχ. 10.10 παριστάνεται η μεταβολή των παραμορφώσεων ϵ_s στα άκρα των δύο διαγωνίων του δοκ. CB-2A κατά τους κύκλους $n = 1, 4, 7$, ενώ στο Σχ. 10.11 συγκρίνονται οι παραμορφώσεις στο μέσον του διαγωνίου οπλισμού των δοκ. CB-2A,B (μέσος όρων μετρήσεων " ϵ_s " καί των δύο ράβδων οπλισμού). Ενδεικτική κατανομή παραμορφώσεων κατά μήκος του διαγωνίου οπλισμού του δοκ. CB-2A φαίνεται στο Σχ. 10.12.

Απ'τα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι οι διαγώνιοι οπλισμοί έχουν εφελκυστικές παραμορφώσεις καθ'όλο το μήκος-τους, ανεξαρτήτως φοράς φορτίου. Αυτό συμφωνεί και με τις μετρήσεις των βελομέτρων που είχαν τοποθετηθεί κατά μήκος των διαγωνίων, τα οποία έδειξαν ότι οι διαγώνιες των δοκών CB-2A,B εφελκύνονται μονίμως, παρατηρείται δηλαδή αύξηση του μήκους τους (πρβλ. §12, Σχ. 12.4,5).

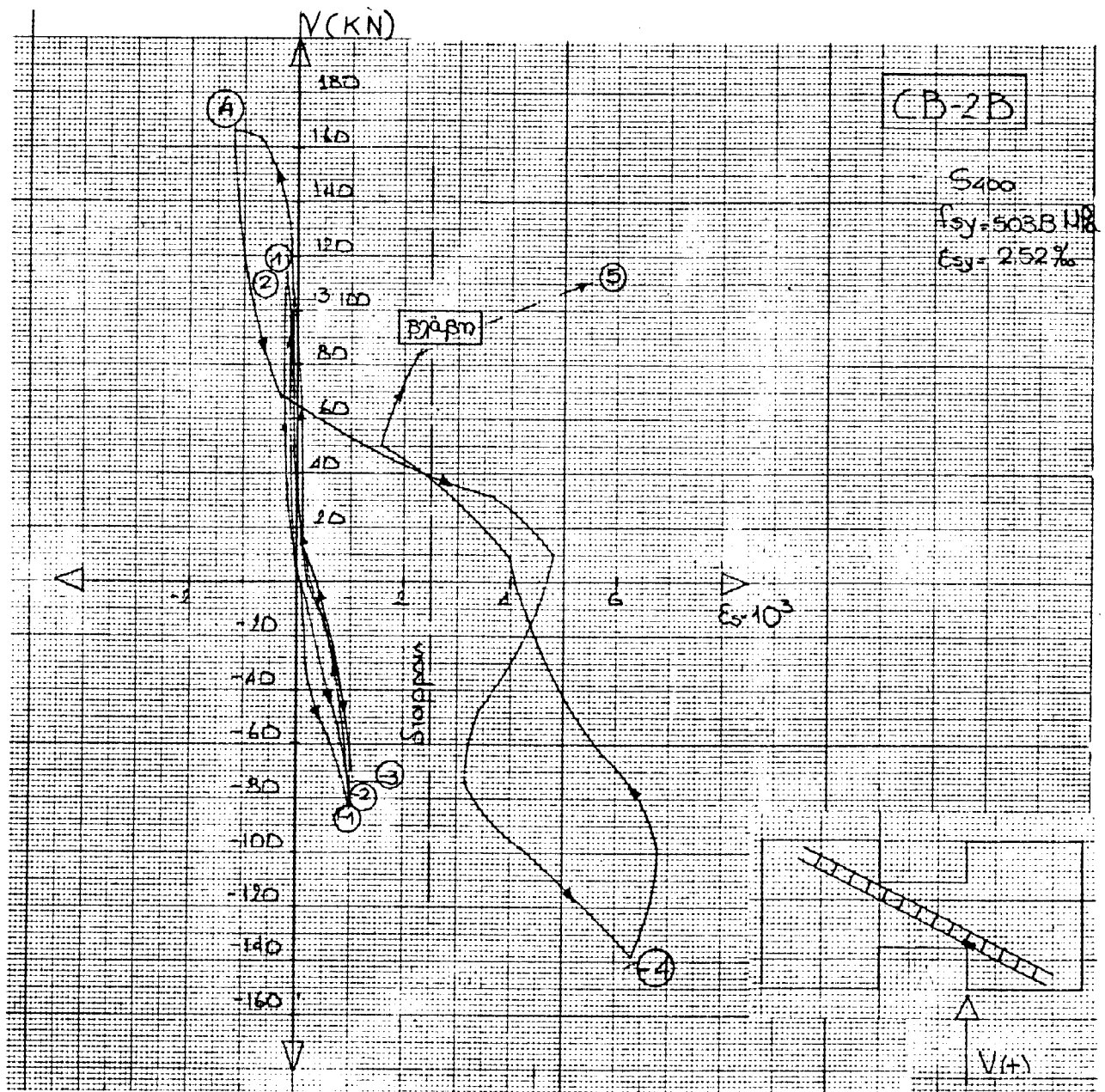
Προ της διαρροής η μη μέτρηση σημαντικών θλιπτικών παραμορφώσεων στους οπλισμούς της "θλιβόμενης" διαγωνίου είναι θέμα: α) ακριβείας, β) πιθανής ασυμμετρίας φορτίσεως. Επί πλέον, προ της διαρροής των οπλισμών, το άνοιγμα των διαγωνίων ρωγμών παραμένει μικρό, με αποτέλεσμα σημαντικό τμήμα της θλιπτικής δύναμews κατά μήκος του διαγωνίου θλιπτήρα να αναλαμβάνεται από το σκυρόδεμα (πρβλ. §1.3.3).



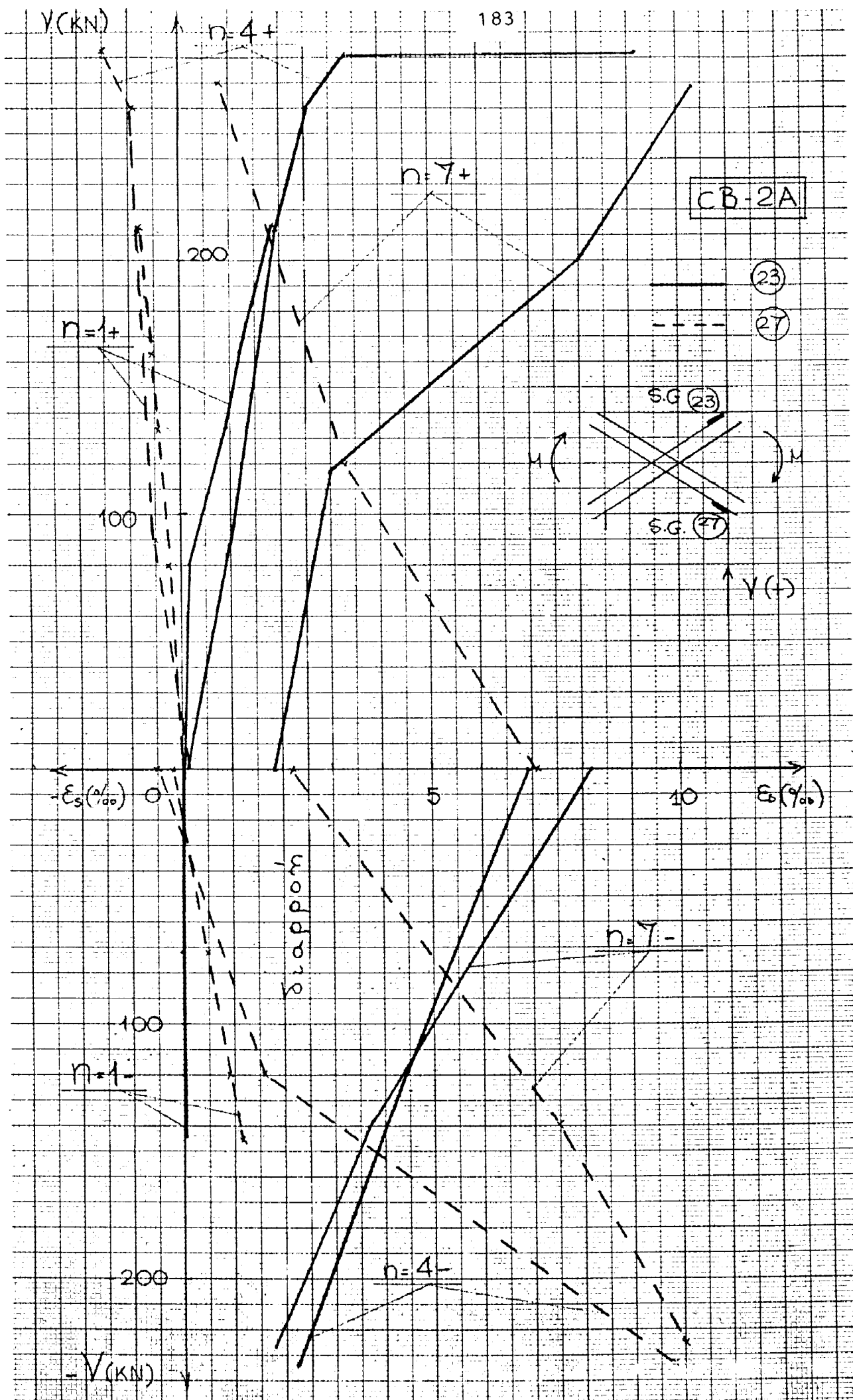
Σχ. 10.8: CB-2B. Παραμορφώσεις ϵ_s στο μέσον του διαγωνίου οπλισμού, συναρτήσει του φορτίου (μετρήσεις ηλεκτρομηκυνσιόμετρου 15).



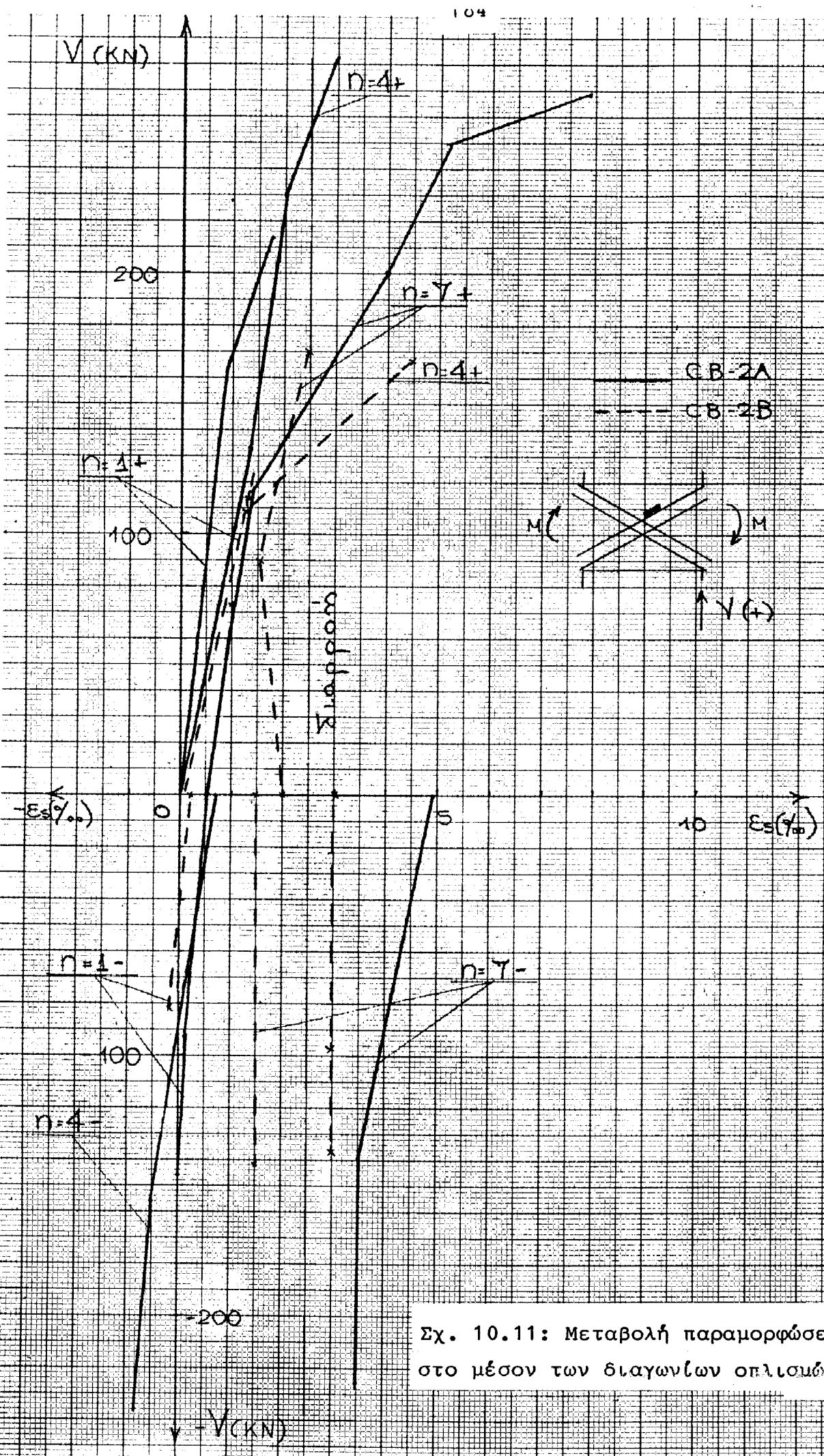
Σχ. 10.9α: CB-2B. Μεταβολή παραμορφώσεων ϵ_s στο άκρο της μιάς ράβδου διαγώνιου οπλισμού, συναρτήσει του φορτίου (μετρήσεις ηλεκτρομηκυσιομέτρου 25).



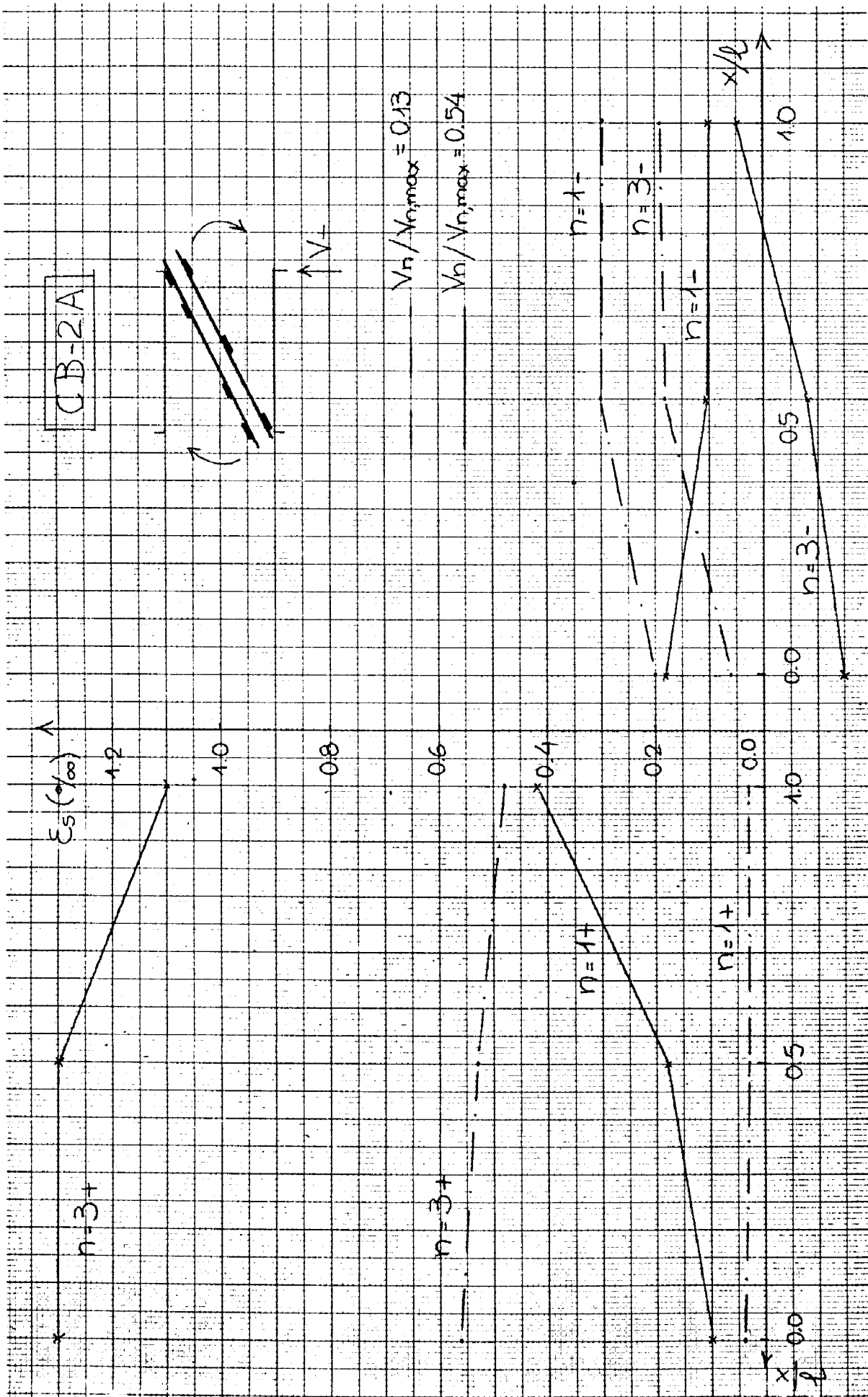
Σχ. 10.9β: CB-2B. Μεταβολή παραμορφώσεων ϵ_s στο άκρο της άλλης ράβδου του διαγώνιου οπλισμού (ηλεκτρομηχυνσιόμετρο 26).



Σχ. 10.10: CB-2A. Παραμορφώσεις σε δύο θέσεις του διαγώνιου οπλισμού.

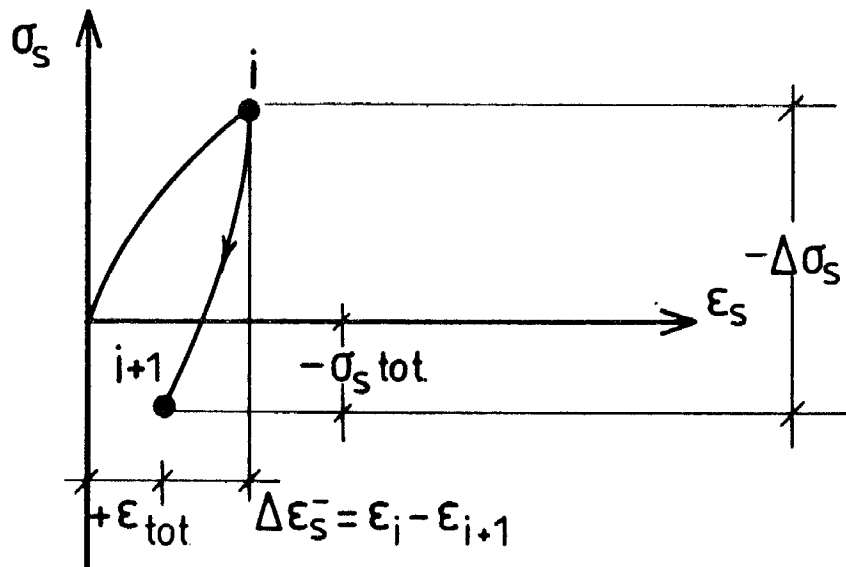


Σχ. 10.11: Μεταβολή παραμορφώσεων στο μέσον των διαγωνίων οπλισμών



Σχ. 10.12: CB-2A. Μεταβολή παραμορφώσεων ϵ_s κατά μήκος του διαγώνιου οπλισμού, για διαφορετικές τιμές φορτίου και για διαφορετικούς κύκλους ($\mu = 1$).

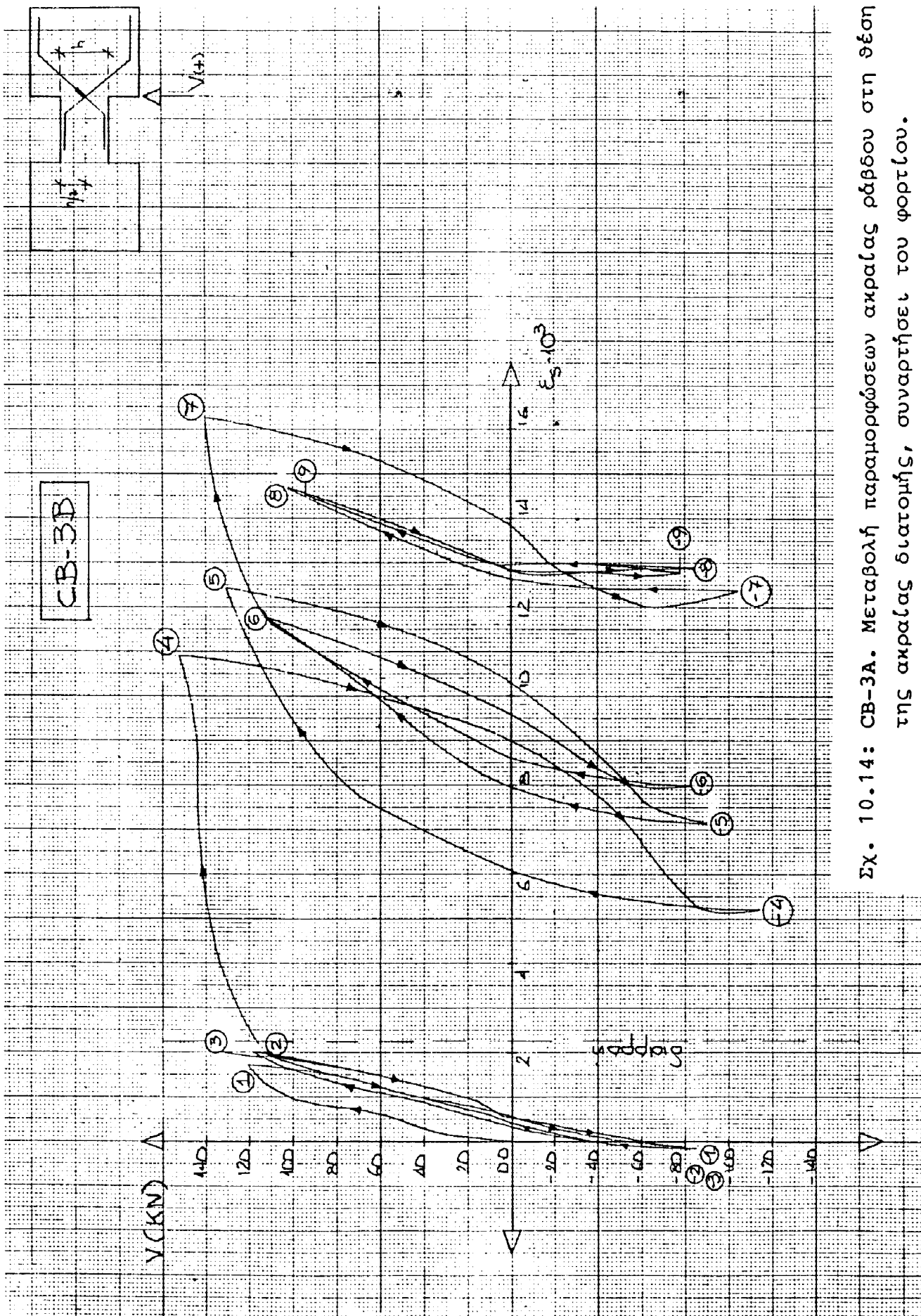
Το γεγονός ότι μετά τη διαρροή των διαγωνίων οπλισμών, εφελκύνονται οι ράβδοι καί των δύο διαγωνίων δεν αντλείται στην υπόθεση ότι οι οπλισμοί της μίας εκ των δύο διαγωνίων αναλαμβάνουν ελπιτικές δυνάμεις. Στο Σχ. 10.13 φαίνεται πώς η εκάστοτε $\Delta \epsilon_s$ αρκεί για να ισορροπήσει την απαιτούμενη ΔV . Έτσι, ενώ η τελική παραμόρφωση ϵ_{tot} είναι εφελκυστική, οι οπλισμοί αναλαμβάνουν ελπιτική τάση: $-\sigma_{s tot}$.



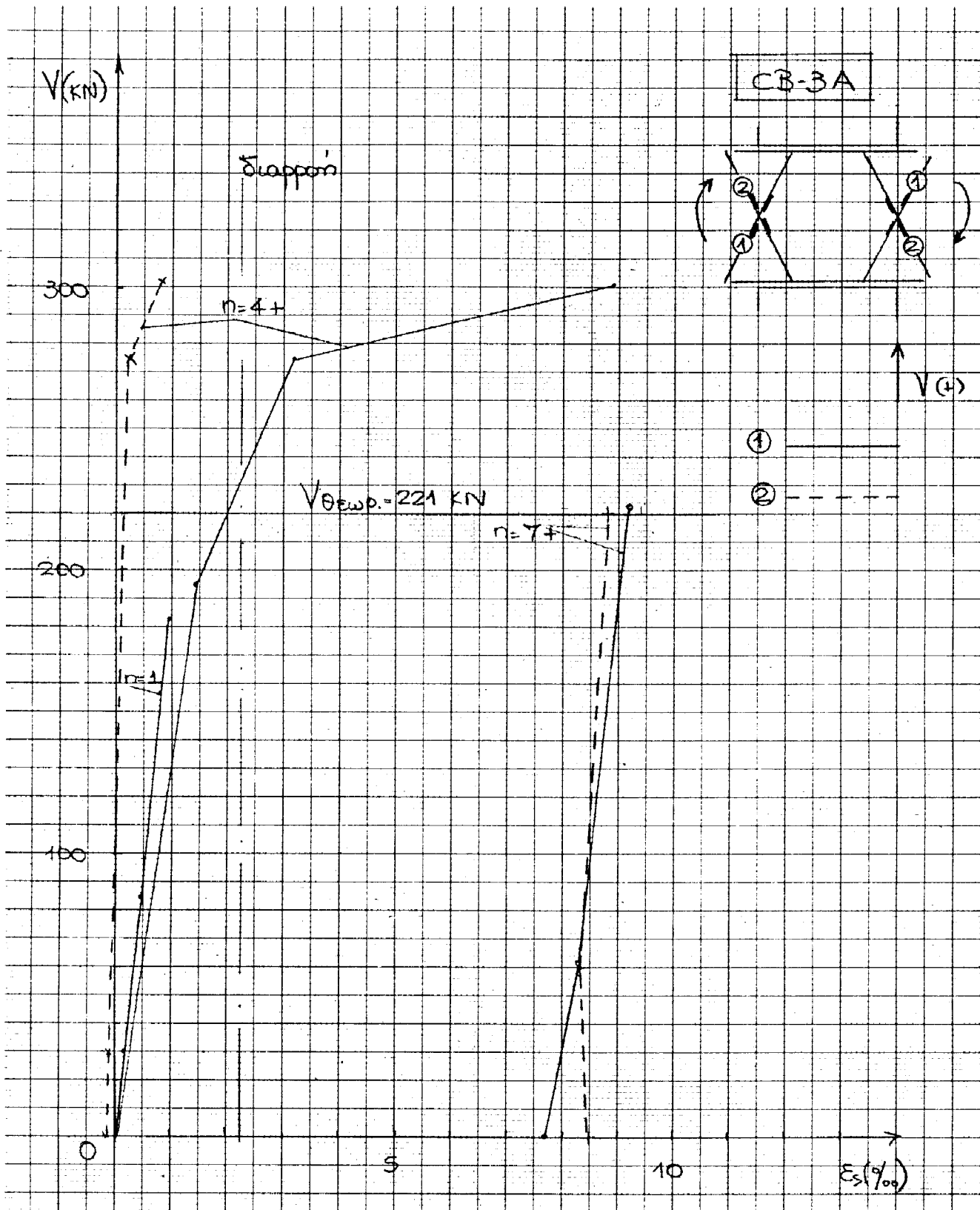
Σχ. 10.13: Τυπικό διάγραμμα $\sigma_s - \epsilon_s$ ράβδου χάλυβα για τιμές παραμορφώσεων $\epsilon_i > \epsilon_{sy}$.

10.3 ΧΙΑΣΤΙ ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΔΟΚΩΝ CB-3

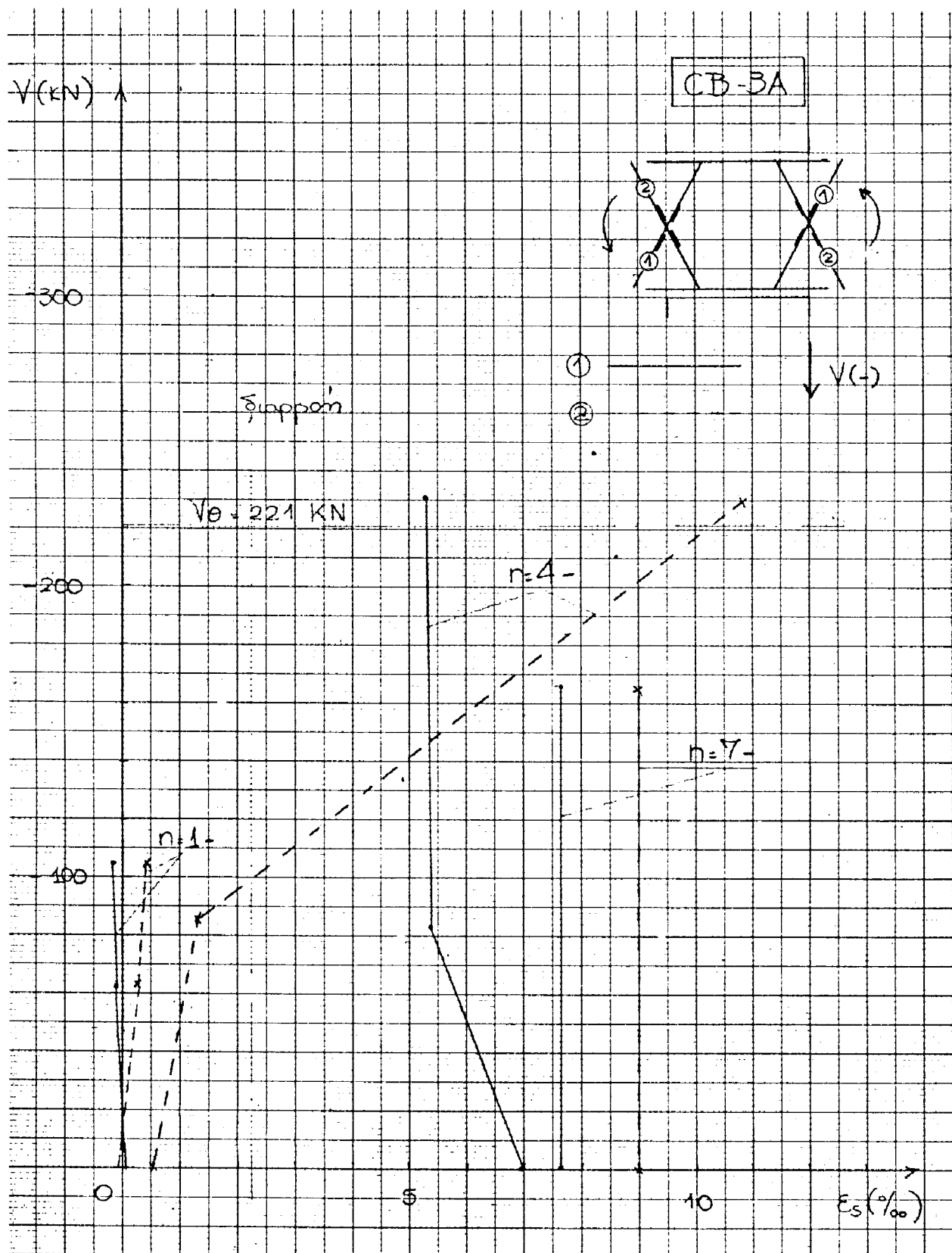
Οι χιαστί οπλισμοί στα άκρα των δοκ. CB-3A,B εφελκύνονται ανεξαρτήτως της φοράς του φορτίου, μετά δε τον ημικύκλο $n = 4+$ διαρρέουν σε εφελκυσμό. Αυτό φαίνεται στα Σχ. 10.15,16 όπου παριστάνεται η μεταβολή των παραμορφώσεων των χιαστί ράβδων στη θέση των ακραίων διατομών, συναρτήσει του φορτίου. Η κάθε καμπύλη έχει προκύψει απ' τον μέσο όρο των μετρήσεων 4 ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (ράβδοι 1,2 στα Σχ. 10.15,16). Γενικώς οι αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων των ηλεκτρομηκυνσιομέτρων ήσαν μικρές.



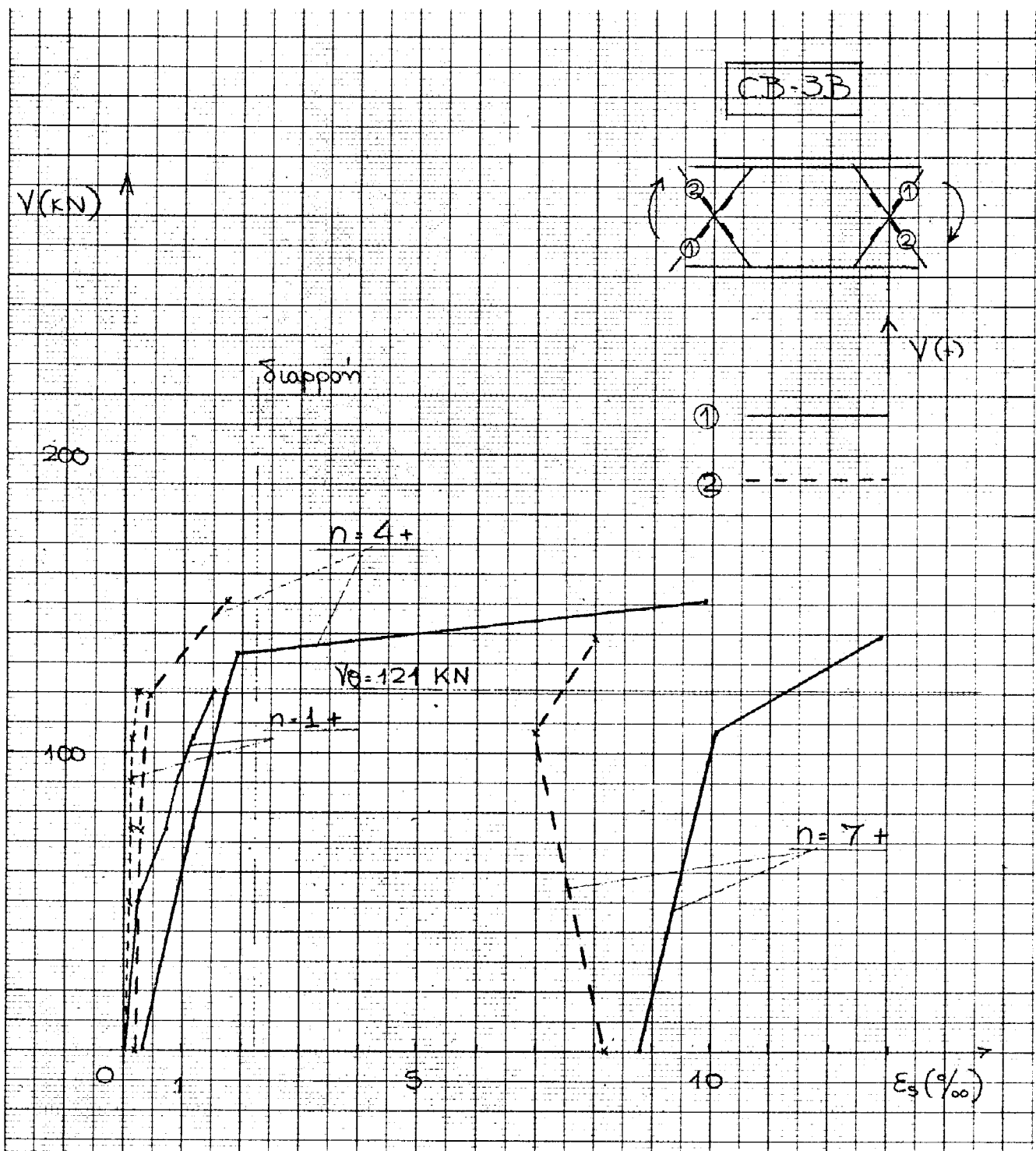
Σχ. 10.14: CB-3A. Μεταβολή παραμορφώσεων ακραίας ράβδου στη θέση της ακραίας διατομής, συναρτήσει του φορτίου.



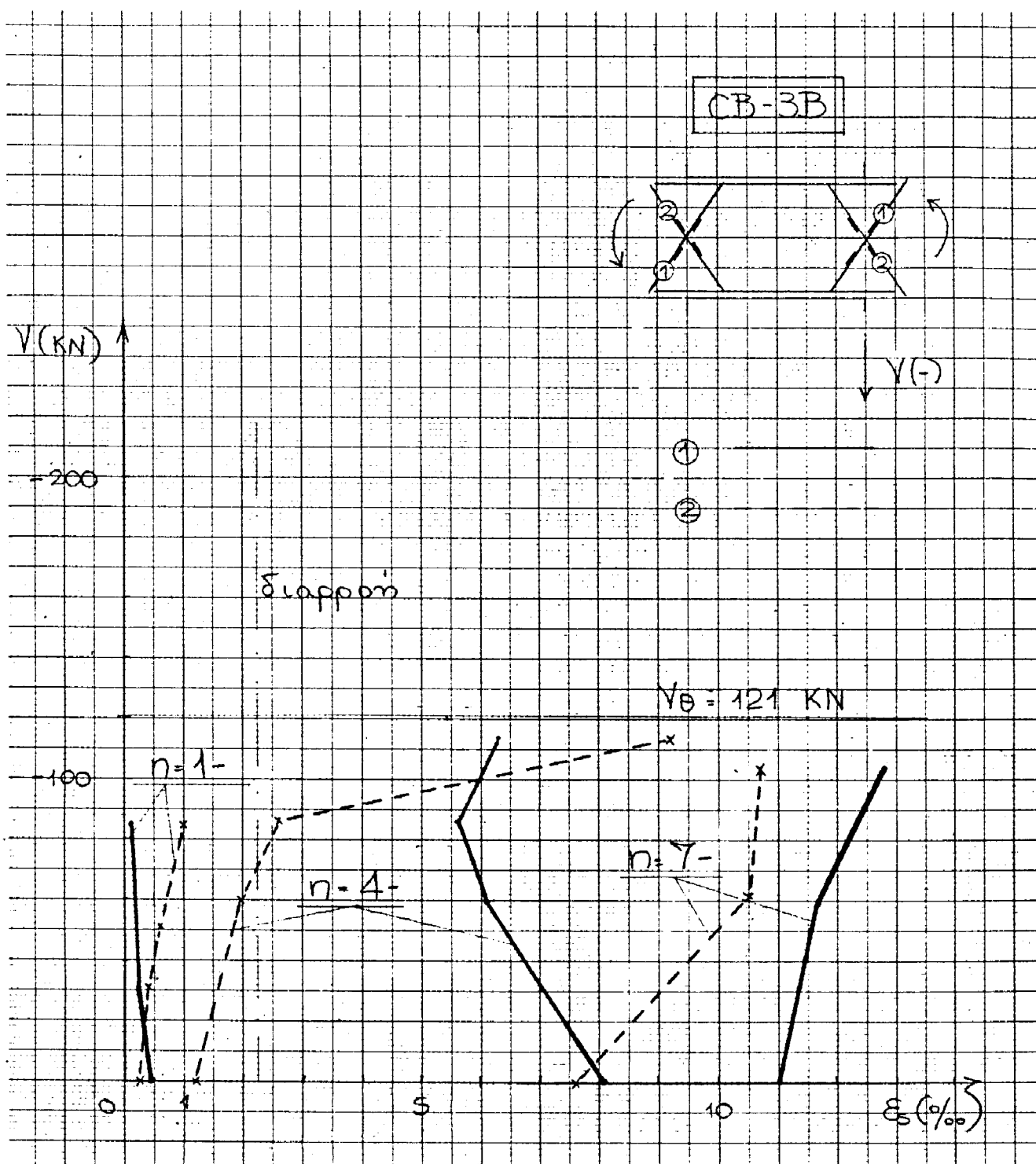
Σχ. 10.15α: CB-3A. Μεταβολή παραμορφώσεων των χιαστί οπλισμών, συναρτήσει του φορτίου και των ανακυκλώσεων για $V > 0$ (μ.ο. μετρήσεων 4 ηλεκτρομηκυνσιομέτρων).



Σχ. 10.15β: CB-3A. Μεταβολή παραμορφώσεων των χιαστί οπλισμών, συναρτήσει του φορτίου και των ανακυκλώσεων για $V < 0$ (μ.ο. μετρήσεων 4 ηλεκτρομηκυνσιομέτρων).



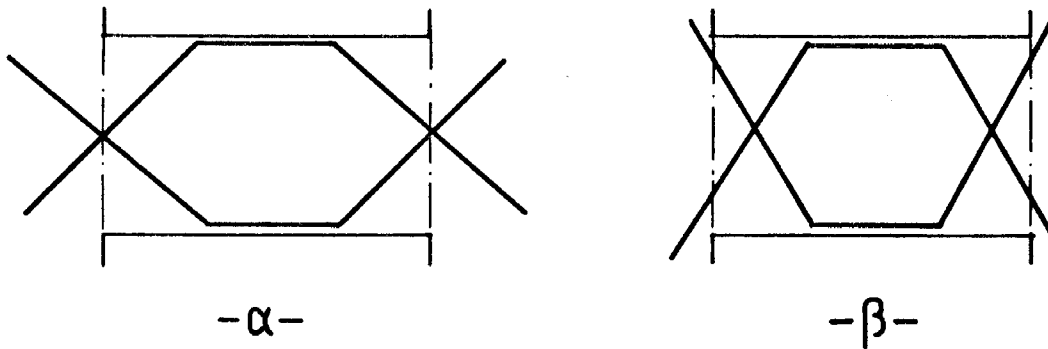
Σχ. 10.16α: CB-3B. Μεταβολή παραμορφώσεων των χιαστί οπλισμών συναρτήσει του φορτίου, κατά τις θετικές ανακυκλώσεις (μ.ο. μετρήσεων 4 ηλεκτρομηκυνσιομέτρων).



— Σχ. 10.16β: CB-3B. Μεταβολή παραμορφώσεων των χιαστί οπλισμών συναρτήσει του φορτίου, κατά τις αρνητικές ανακυκλώσεις (μ.ο. μετρήσεων 4 ηλεκτρομηκυνσιομέτρων).

Στο Σχ. 10.14 φαίνονται οι παραμορφώσεις μιάς κεκλιμένης ράβδου στην ακραία διατομή, συναρτήσει του φορτίου.

Το γεγονός ότι ακόμη και προ της διαρροής δεν μετρούνται αρνητικές παραμορφώσεις στους χιαστί οπλισμούς, οφείλεται πιθανώς στο ότι στις ακραίες διατομές της δοκού οι χιαστί ράβδοι περνούν απ' το μέσον της δοκού. Αυτό έχει ως συνέπεια οι θλιπτικές δυνάμεις στην ακραία διατομή να μη μπορούν να μεταβιβαστούν απευθείας απ' τη θλιβόμενη ζώνη στους λοξούς οπλισμούς. Η απευθείας ενεργοποίηση των χιαστί οπλισμών στην ανάληψη θλιπτικών δυνάμεων θα συνέβαινε αν λ.χ. οι οπλισμοί ήταν τοποθετημένοι όπως φαίνεται στο Σχ. 10.17.



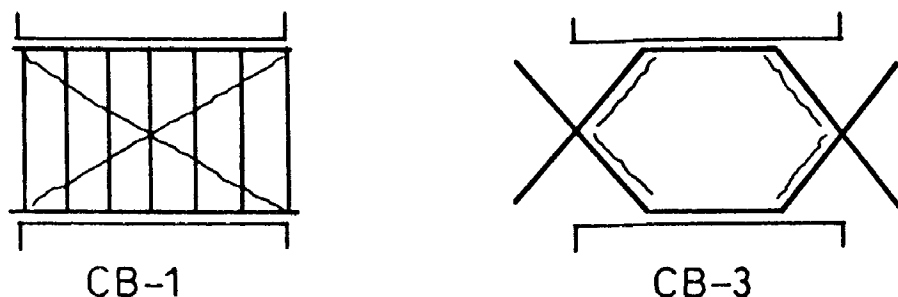
Σχ. 10.17α: Διάταξη χιαστί οπλισμών στις δοκούς CB-3A,B.

β: Όπλιση η οποία θα επέτρεπε την άμεση ενεργοποίηση των χιαστί οπλισμών σε θλίψη.

Επομένως, η υπόθεση ότι στις ακραίες διατομές των δοκών CB-3 η οριακή τέμνουσα αναλαμβάνεται εξ ολοκλήρου απ' τους χιαστί οπλισμούς (δίδει η μία εκ των δύο χιαστί ράβδων διαρρέει σε εφελκυσμό και η άλλη σε θλίψη: πρβλ. §4.5.3, 1ης Εκθ. Προόδου) δεν φαίνεται να είναι απολύτως σωστή. Στην ανάληψη της τέμνουσας στις ακραίες διατομές συνεισφέρουν καί οι συνδετήρες, όπως επιβεβαιώνεται κι απ' τις μετρήσεις παραμορφώσεων των συνδετήρων (βλ. Σχ. 10.2-4). Για την λεπτομερέστερη ανάλυση της κατανομής της τέμνουσας απαιτείται βήμα προς βήμα παρακολούθηση (πράγμα που δεν είναι αντικείμενο της παρούσας έρευνας).

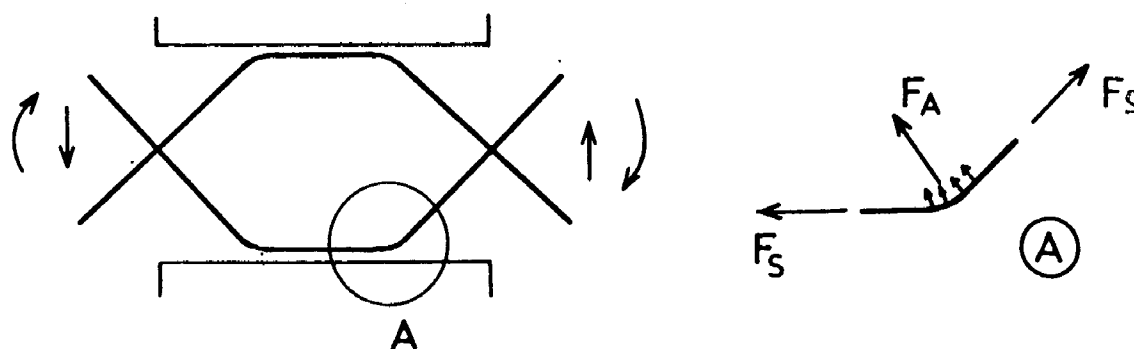
Παρατηρείται όμως ότι η ύπαρξη των χιαστί οπλισμών στις δοκούς CB-3A,B βελτίωσε σημαντικά τη συμπεριφορά των δοκών αυτών

έναντι των κλασικώς οπλισμένων δοκών CB-1A,B: Οι χιαστίσμοι αύξησαν τη φέρουσα ικανότητα των δοκών CB-3 (περί κατά 30%) ενώ ταυτοχρόνως απέτρεψαν την επέκταση και τη ρύση των διαγωνίων ρωγμών (βλ. Σχ. 10.18).



Σχ. 10.18: Ρωγμές κατά μήκος των οποίων συγκεντρώθηκαν βλάβες στις δοκούς CB-1,3, κατά τις ανακυκλίσεις.

Η βελτιωμένη συμπεριφορά των δοκών CB-3 αποδίδεται μεν ακραίες διατομές στη συνδυασμένη ανάληψη τεμνουσών και χιαστίσμων οπλισμούς κι απ' τους συνδετήρες, στο δε με το μήκος της δοκού στις δυνάμεις άντυνας που ασκούν οι χιαστίσμοι στο σκυρόδεμα (βλ. Σχ. 10.19). Οι δυνάμεις F_A δημιουργούνται λόγω της αλλαγής κλίσεως των ράβδων (εκτατικές/εφελκυστικές δυνάμεις), περισφίγγουν δε το μεσαίο τμήμα της δοκού, αυξάνοντας έτσι την αντοχή του σκυροδέματος και αποτρέποντας την επέκταση της διαγώνιας ρηγματώσεως.



Σχ. 10.19: Δυνάμεις άντυνας που ασκούν οι χιαστίσμοι στο σκυρόδεμα.

Οι ρωγμές που παρατηρούνται κατά μήκος των χιαστίσμων οφείλονται κατ'αρχήν σε ελλιπή αγκύρωση των λοξών ράβδων.

εντείνονται δε λόγω των εγκάρσιων δυνάμεων άντυνας (βλ. Σχ. 10.19).

Τα απαιτούμενα μήκη αγκυρώσεως των χιαστί οπλισμών είναι: (βλ. ΣΚΣ, §17.6.3).

$$l_{b,net} = l_b \alpha \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} \quad (1) \quad \text{όπου} \quad l_b = \frac{\phi}{4} \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

Είναι: $f_{bd} = 1.3 \text{ MPa}$ για: $f_{ck} \approx 30 \text{ MPa}$

$\alpha = 0.7$ για: καμπύλη αγκύρωση υπό εφελκυσμό

$$\frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} = 1$$

$$(1): \quad l_{b,net} \begin{cases} 3A \quad \phi 18 = 63 \text{ cm} \\ 3B \quad \phi 14 = 49 \text{ cm} \end{cases}$$

Το πραγματικό μήκος αγκυρώσεως των χιαστί οπλισμών στις δοκούς ήταν $\approx 30\text{cm}$, το οποίο αποδείχθηκε ανεπαρκές.

10.4 ΒΛΗΤΡΑ

Τόσο τα βλήτρα των δοκιμών CB-4A,B που εκτελούνταν σε όλο το μήκος της δοκού όσο και εκείνα των δοκιμών CB-5A,B που ήσαν τοποθετημένα μόνον στα άκρα των δοκών, κατά τις ανακυκλώσεις εμφάνισαν κυρίως εφελκυστικές παραμορφώσεις (μετρήσεις από ηλεκτρομηκυνσιόμετρα).

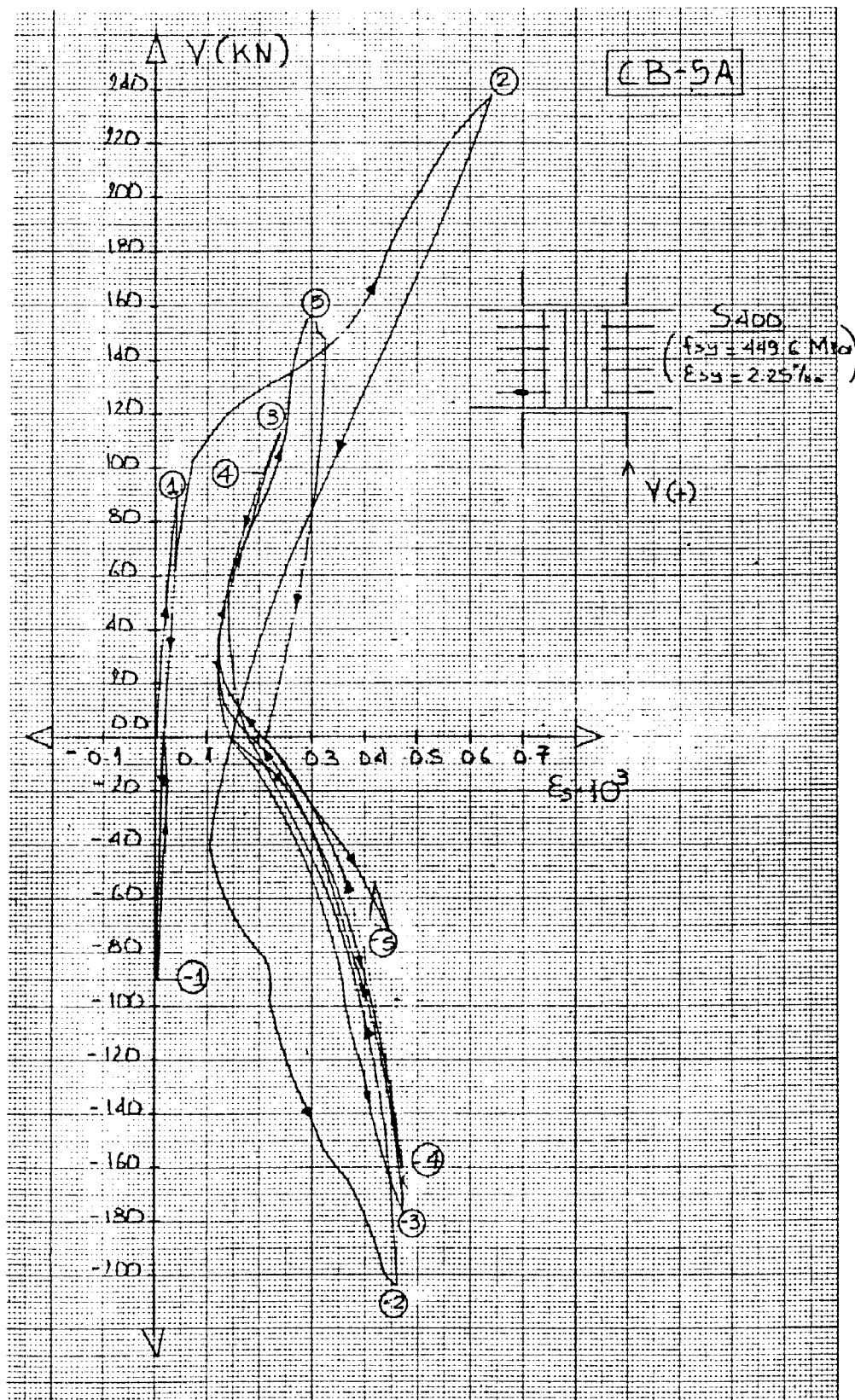
Στα Σχ. 10.4 φαίνεται η κατανομή των παραμορφώσεων κατά μήκος των βλήτρων του δοκ. CB-4A συναρτήσει του φορτίου και των κύκλων φορτίσεως ενώ στα Σχ. 10.20,21 φαίνεται η μεταβολή των παραμορφώσεων, συναρτήσει του φορτίου, βλήτρων των δοκ. CB-5A,B, στη θέση των ακραίων διατομών.

Παρατηρείται ότι οι παραμορφώσεις των βλήτρων, που είναι γενικώς εφελκυστικές, παραμένουν μικρές. Διαρροές βλήτρων μετρήθηκαν μόνον σε μεμονωμένα βλήτρα για $n \geq 4$. (Στη μη διαρ-

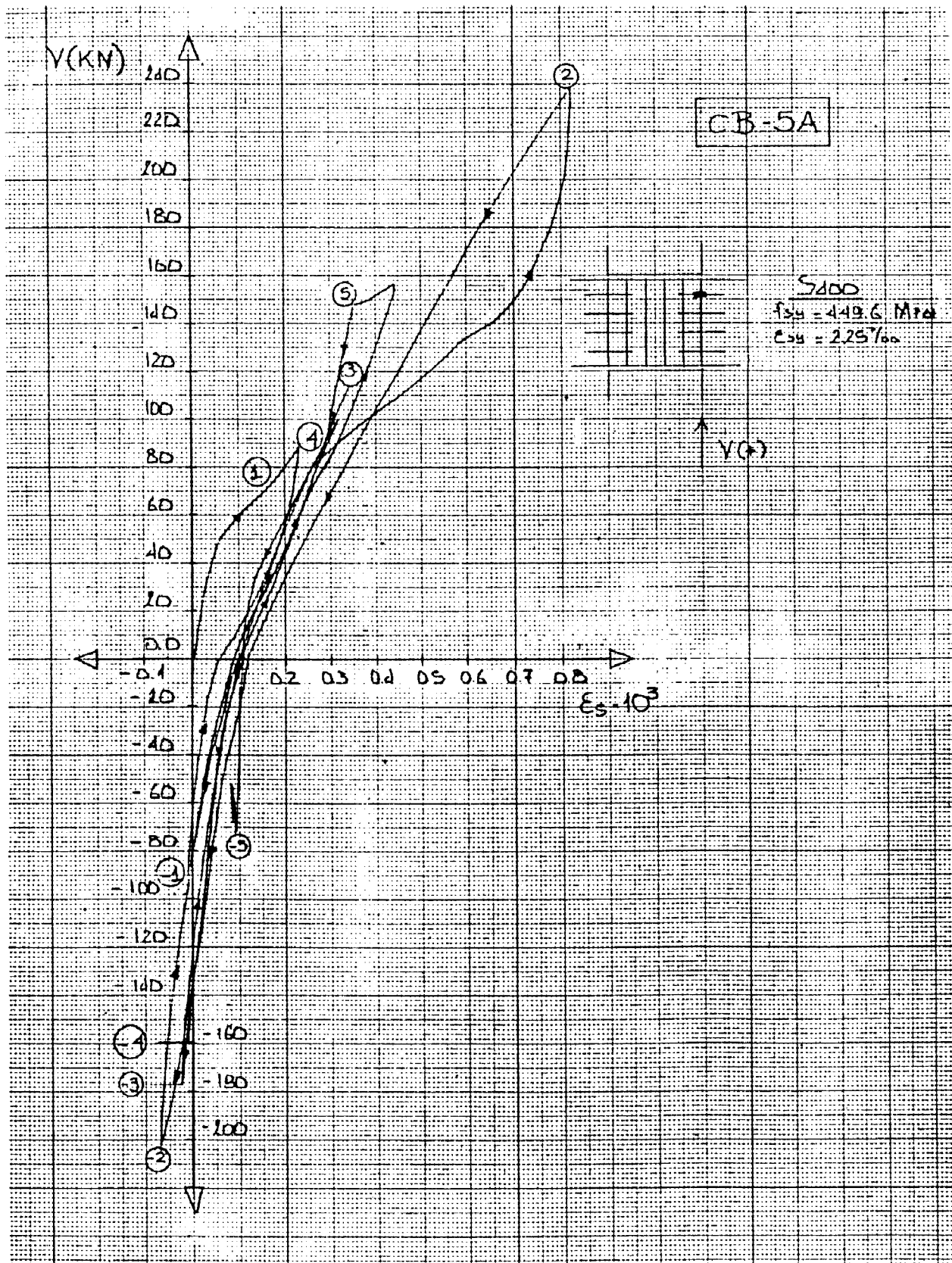
ροή των βλήτρων αποδόθηκε άλλωστε η σημαντική θλίψη των διαγωνίων που μετρήθηκε μέσω των βελομέτρων: πρβλ. §10).

Στα Σχ. 10.22 έως 10.25 παριστάνεται η μεταβολή των παραμορφώσεων καθ' ύψος των ακραίων διατομών των δοκών CB-4,5, συναρτήσει του φορτίου ή των κύκλων φορτίσεως. Η κατανομή αυτή προέκυψε από μετρήσεις ηλεκτρομηκυνσιομέτρων που ήσαν τοποθετημένα στα βλήτρα.

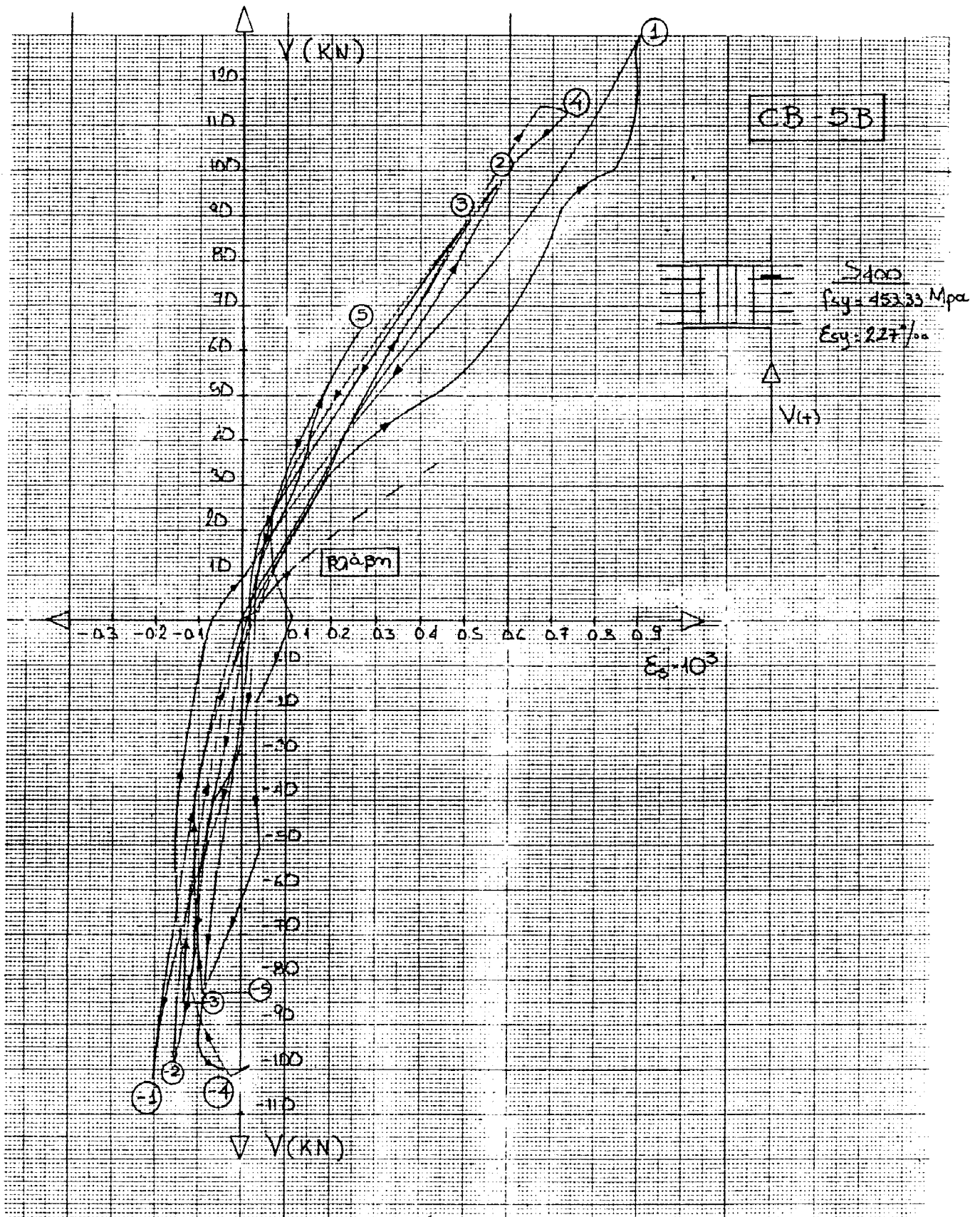
Η κακή συμπεριφορά των δοκών με τα βλήτρα και η γρήγορη πτώση της αποκρίσεώς-τους φαίνεται κι απ' την μεταβολή των " ϵ_s " κατά μήκος ενός βλήτρου στο δοκ. CB-4A (βλ. Σχ. 10.5β). Για $n > 4$ τα βλήτρα παύουν να ενεργοποιούνται, όπως φαίνεται απ' τη μείωση των κατά μήκος παραμορφώσεων. Αυτό οφείλεται μάλλον στη γενική αποδιοργάνωση του δοκιμίου για $n > 4$.



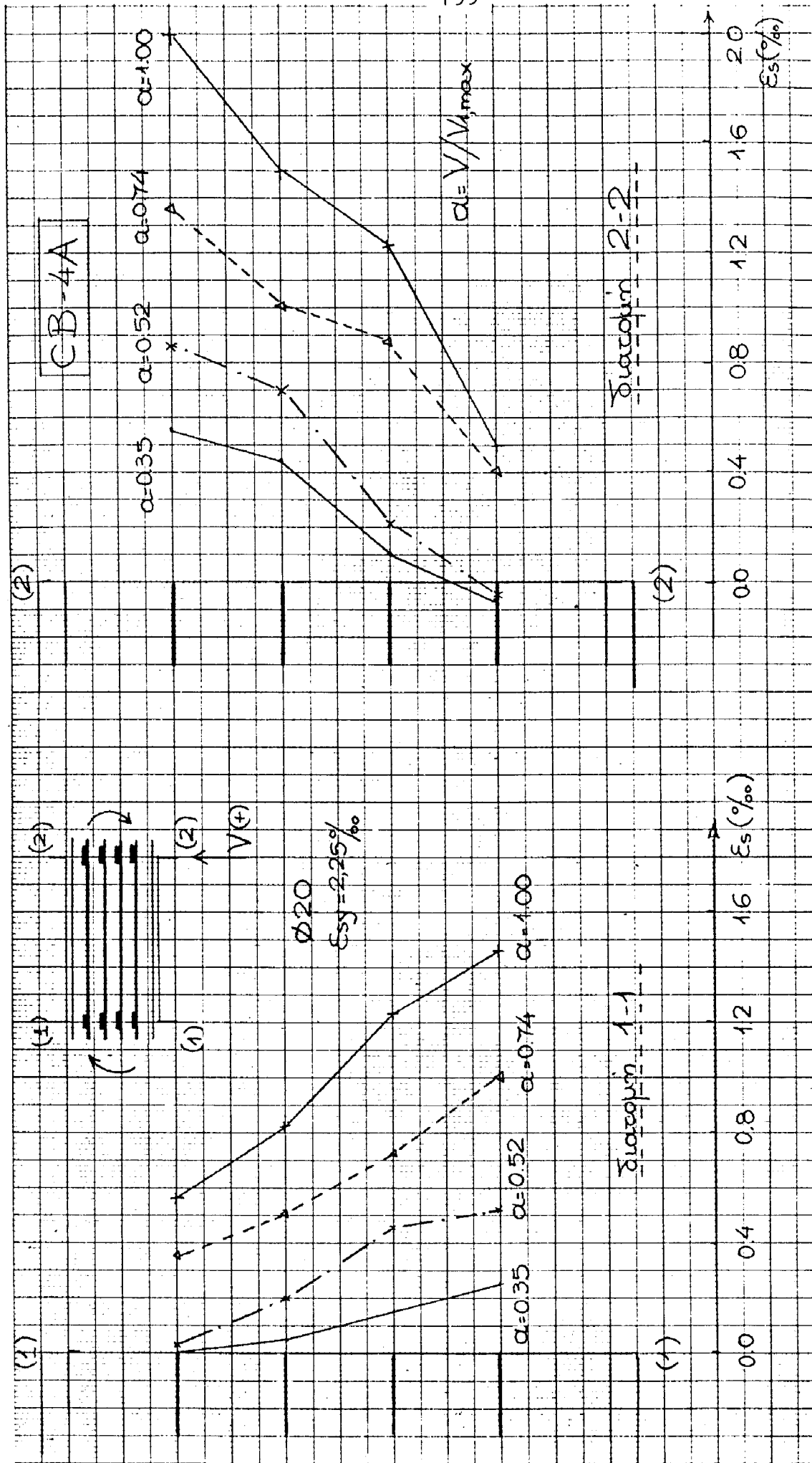
Σχ. 10.20α: CB-5A. Μεταβολή των παραμορφώσεων βλήτρων συναρτήσει του φορτίου, στη θέση της ακραίας διατομής.



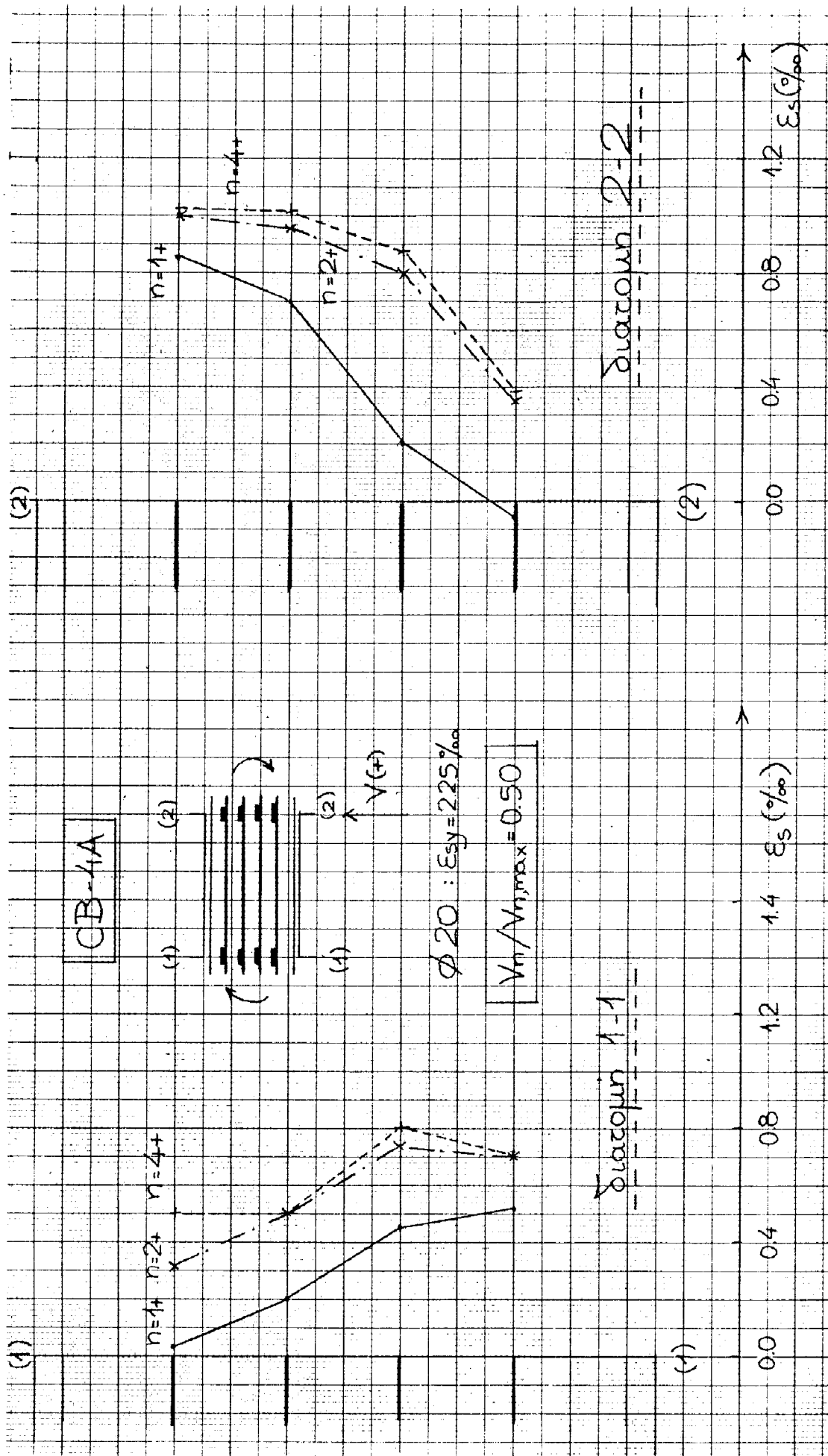
Σχ. 10.20β: CB-5A. Μεταβολή των παραμορφώσεων βλήτρων συναρτήσει του φορτίου, στη θέση της ακραίας διατομής.



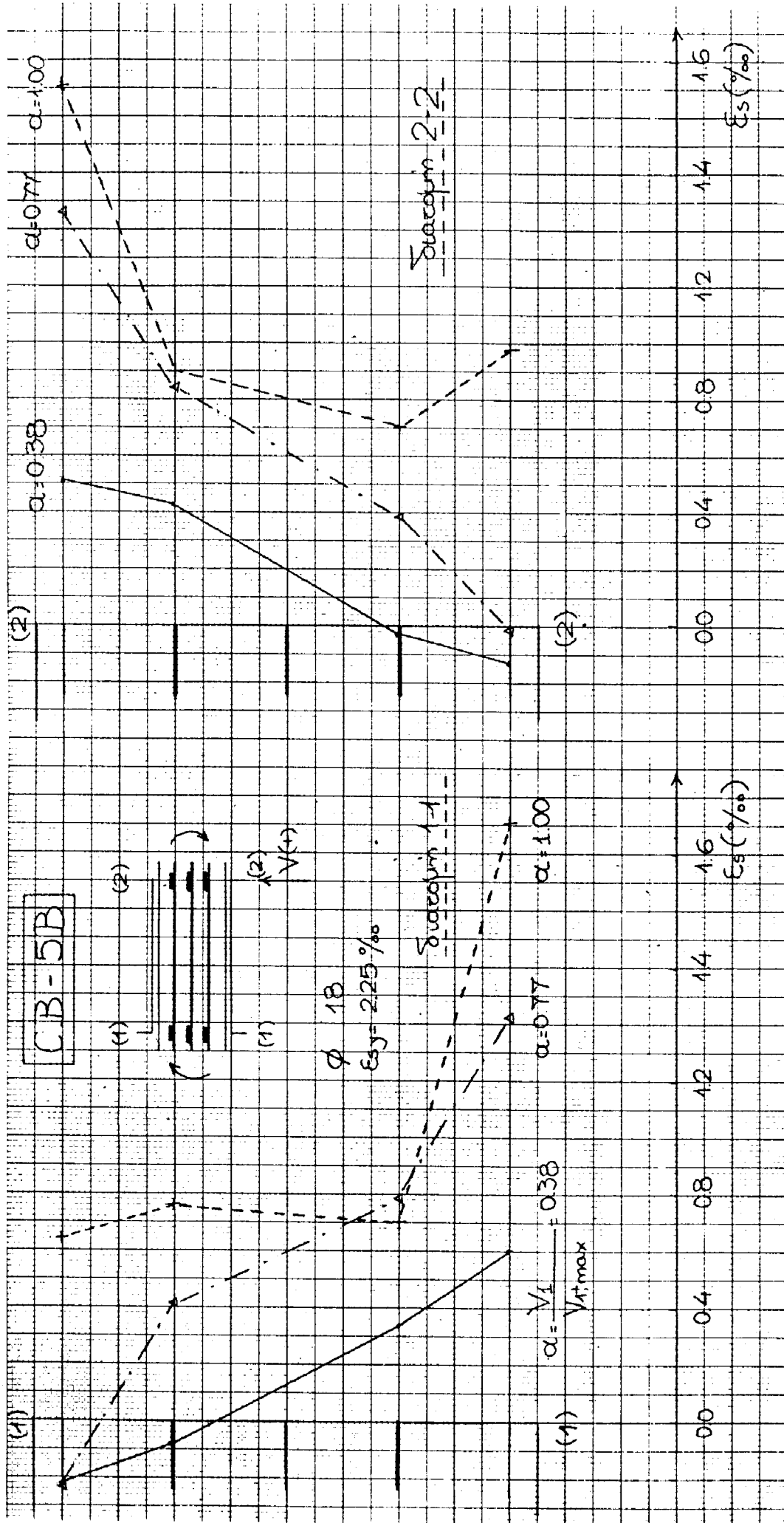
Σχ. 10.21: CB-5B. Μεταβολή των παραμορφώσεων βλήτρων συναρτήσει του φορτίου, στη θέση της ακραίας διατομής.



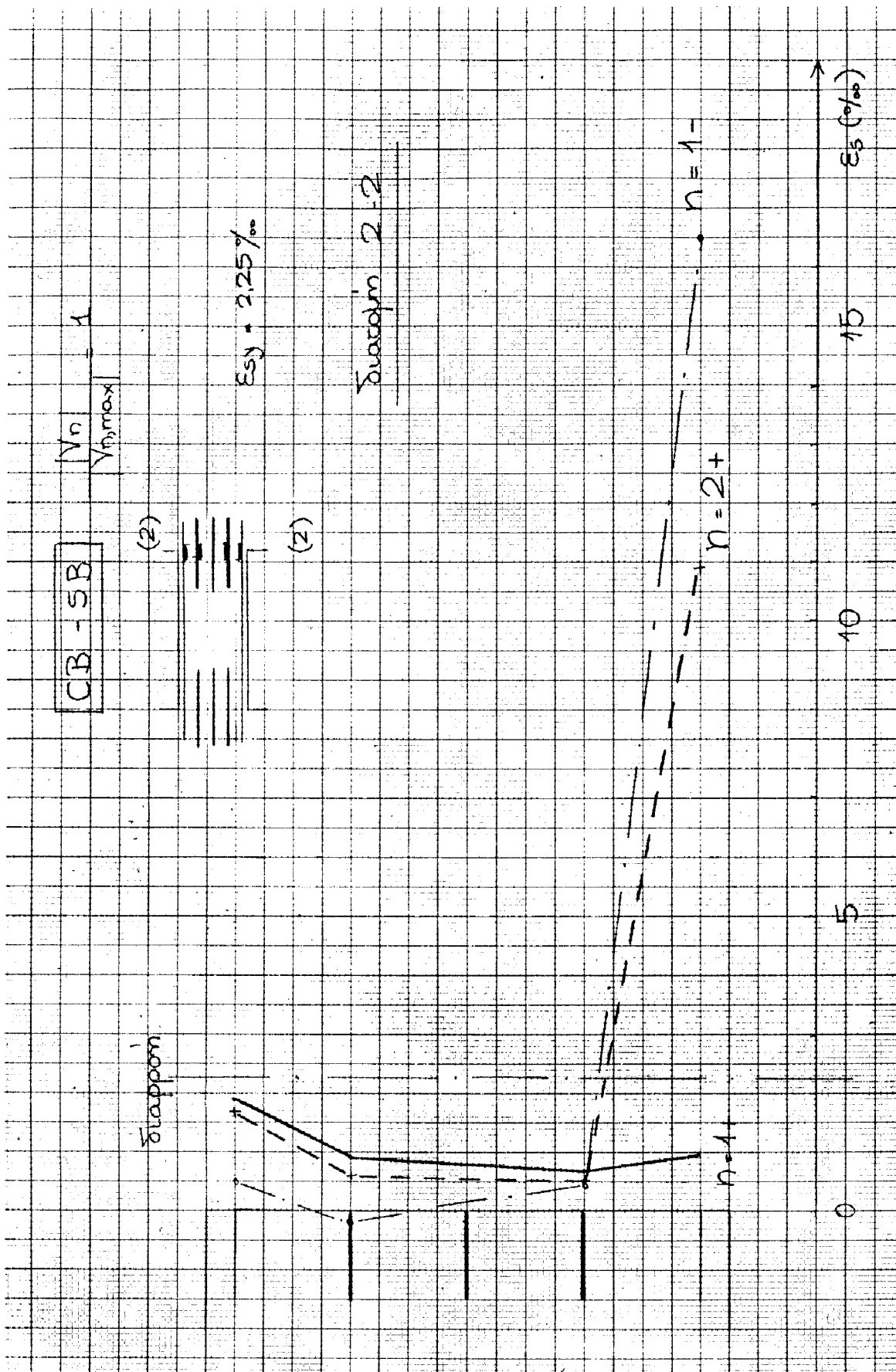
Σχ. 10.22α: CB-4A. Καθ' ύψος μεταβολή παραμορφώσεων των ακραίων διατομών για διάφορες στάθμες φορτίου ($n = 1$).



Σχ. 10.22β: CB-4A. Μεταβολή των παραμορφώσεων καθ' ύψος των ακραίων διατομών για διαφορετικούς κύκλους φόρτισης.



Σχ. 10.25α: CB-5B. Μεταβολή των παραμορφώσεων καθ' ύψος των ακραίων διατομών, συναρτήσει του φορτίου ($n = 1+$).



Σχ. 10.25β: CB-5B. Μεταβολή των παραμορφώσεων καθ' ύψος της ακραίας διατομής για διαφορετικούς κύκλους φόρτισης ($V_n/V_{n,max} = 1$).

11. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ

Στο Σχ. 11.1 φαίνεται η τυπική μορφή μεταβολής των παραμορφώσεων συνδετήρα συναρτήσει του φορτίου.

Στα Σχ. 11.2,3,4 παριστάνονται ενδεικτικές κατανομές των παραμορφώσεων των συνδετήρων σε θέσεις κατά μήκος κυρίων διαγωνίων των δοκών, συναρτήσει του φορτίου και του πλήθους των ανακυκλίσεων. Είναι φανερό η αύξηση των παραμορφώσεων των συνδετήρων κατά την διαγώνια ρηγμάτωση (βλ. Σχ. 11.3,4).

Η διαρροή των συνδετήρων σε όλα γενικώς τα δοκίμια συμβαίνει κατά τον ημικύκλο 4+, κατά τον οποίο εμφανίζεται συνήθως και η μέγιστη αντοχή των δοκιμών.

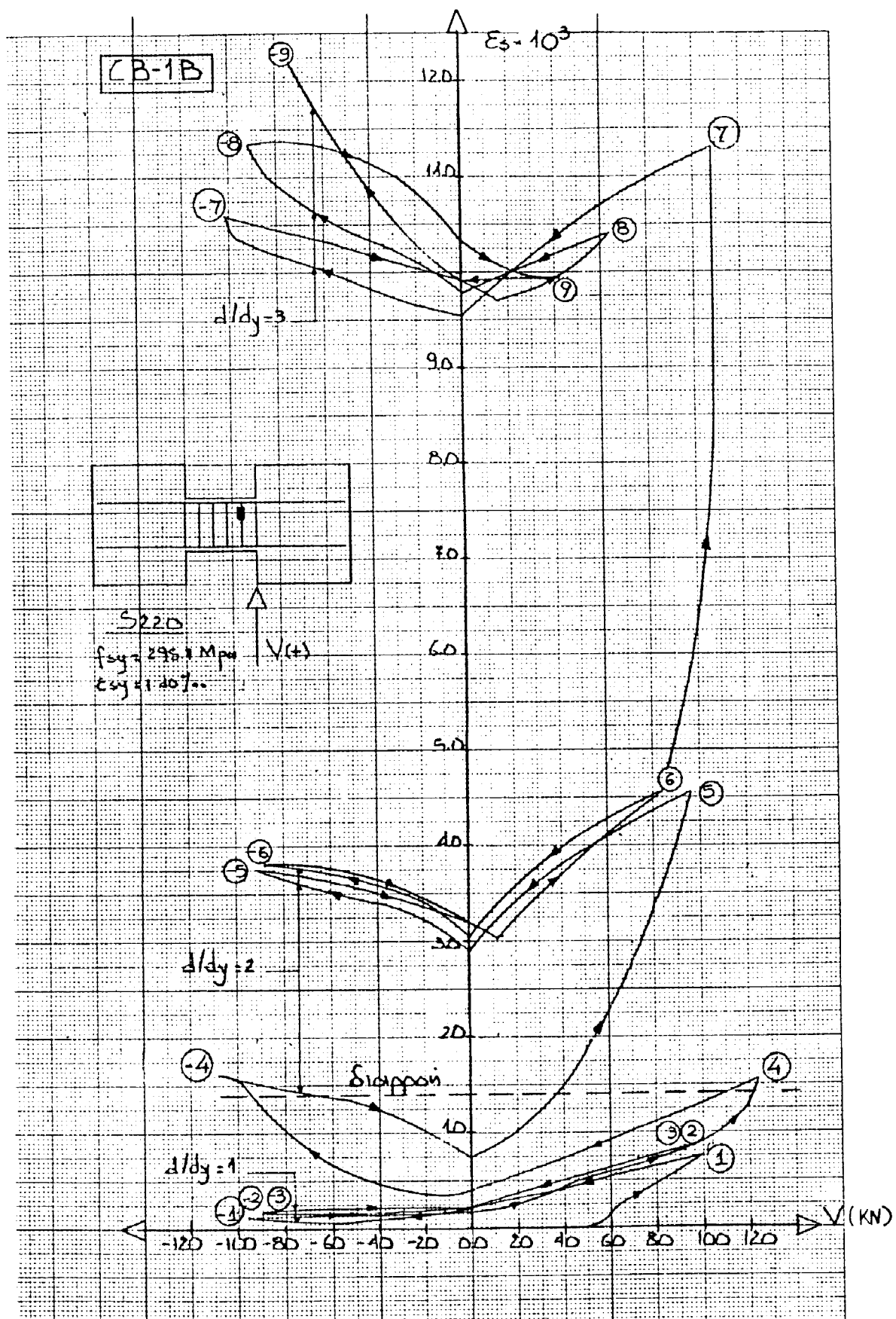
Οι μόνοι συνδετήρες που δεν διαρρέουν, σύμφωνα με τις μετρήσεις των ηλεκτρομηκυνσιομέτρων, είναι οι ακραίοι συνδετήρες των δοκών CB-4A,B που ήσαν οπλισμένες με βλήτρα. Αυτό δείχνει ότι τα βλήτρα μετέφεραν σχεδόν εξ ολοκλήρου την τέμνουσα από το τοίχωμα στη δοκό (δηλ. στις ακραίες διατομές της δοκού).

Στα Σχ. 11.5,6 παριστάνεται ο λόγος της μέγιστης τέμνουσας $|V_{\max,i}|$ που ασκείται σε κάθε ημικύκλο στην δοκό προς την οριακή αντοχή V_w των συνδετήρων. (Για τις δοκούς με $\alpha_s = 0.50$ είναι $V_{w,\max} = 170 \text{ kN}$, ενώ για τις δοκούς με $\alpha_s = 0.83$ είναι: $V_{w,\max} = 100 \text{ kN}$). Στο κάθε διάγραμμα παριστάνονται, χάριν συγκρίσεως, όλα τα δοκίμια με ίδιο λόγο διατμήσεως, εκτός του δοκιμίου CB-2 με τους δισδιαγώνιους οπλισμούς στο οποίο είχε τοποθετηθεί μόνον ελάχιστος κατασκευαστικός οπλισμός διατμήσεως. Παρατηρείται ότι στον ημικύκλο $n = 7+$ ($\mu = 3$) η φέρουσα ικανότητα των δοκών CB-1,3 είναι περίπου ίση με την οριακή αντοχή των συνδετήρων: $|V_{\max,i}|/V_{w,\max} = 1$. Έτσι, οι συνδετήρες φαίνονται να εξασφαλίζουν στις δοκούς στις οποίες η διατμητική συμπεριφορά κυβερνάται από συνδετήρες - CB-1,3 - μια ελάχιστη στάθμη αποκρίσεως: $V = V_w$ έως τον 1ο ημικύκλο επιβολής μετακινήσεων: $\delta = 3\delta_y$ ($\mu = 3$).

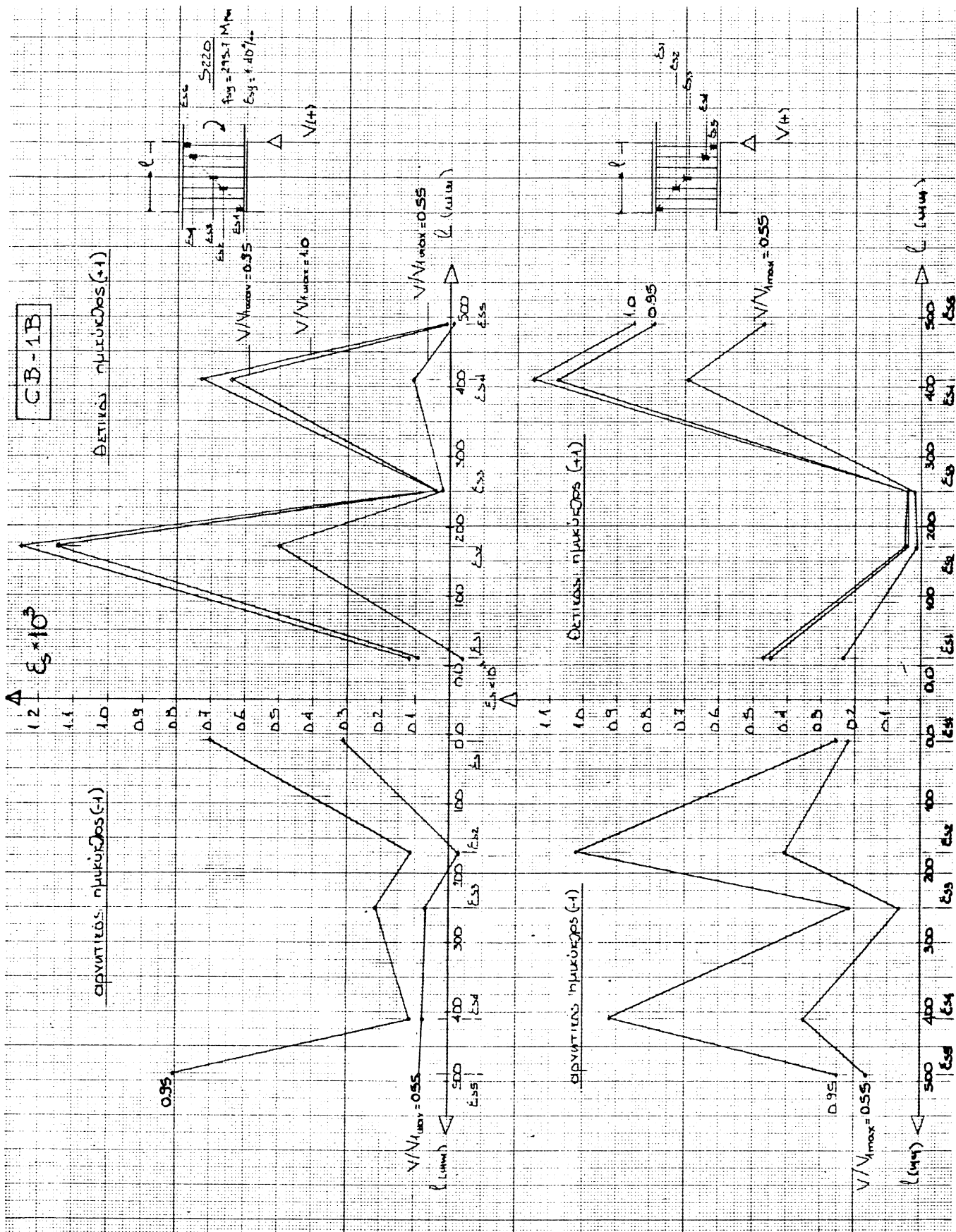
Στα Σχ. 11.7,8 παριστάνεται ο λόγος της τέμνουσας που

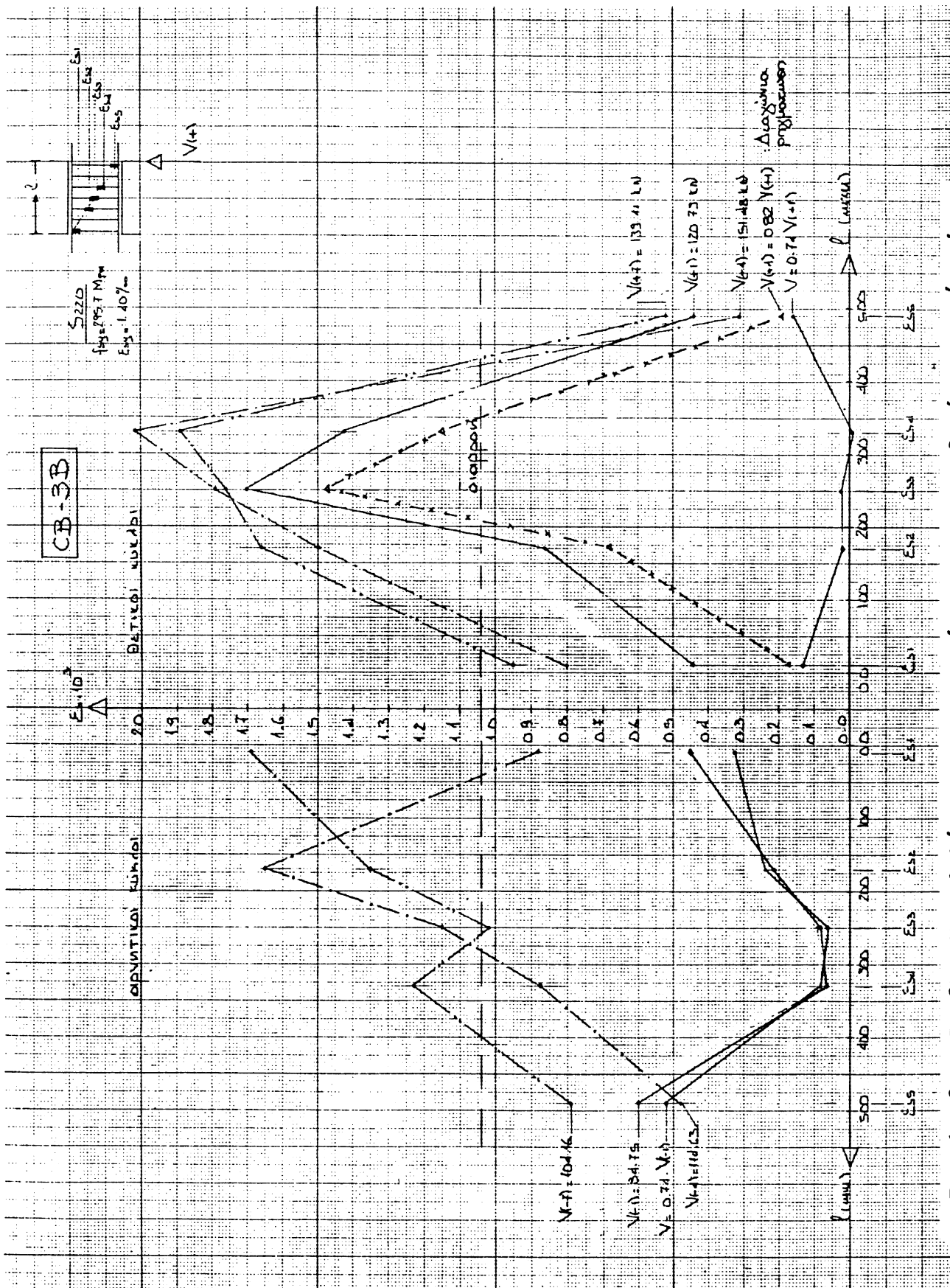
αναλαμβάνουν οι συνδετήρες σε κάθε ημικύκλο προς το αντίστοιχο μέγιστο κατ' απόλυτη τιμή επιβαλλόμενο φορτίο, συναρτήσει του πλήθους n των ημικύκλων.

Παρατηρούμε ότι σ' όλα τα δοκίμια που δεν αστοχούν πρόωρα σε μικρές τιμές του n (λ.χ. CB-4B) εξαντλείται η αντοχή των συνδετήρων $V = V_w$, εκτός των δοκών CB-3 με τους χιαστί οπλισμούς στα άκρα. Στις δοκούς CB-3 έως τον κύκλο $n = 7$, απ' τις μετρήσεις των ηλεκτρομηκυνσιομέτρων, δεν φαίνεται να εξαντλείται η αντοχή των συνδετήρων. Κατά τις επόμενες ανακυκλίσεις τίθενται εκτός λειτουργίας πολλά ηλεκτρομηκυνσιόμετρα με αποτέλεσμα η V_w , που υπολογίζεται να μην είναι αξιόπιστη, γι' αυτό άλλωστε δεν σχεδιάζεται στα διαγράμματα.

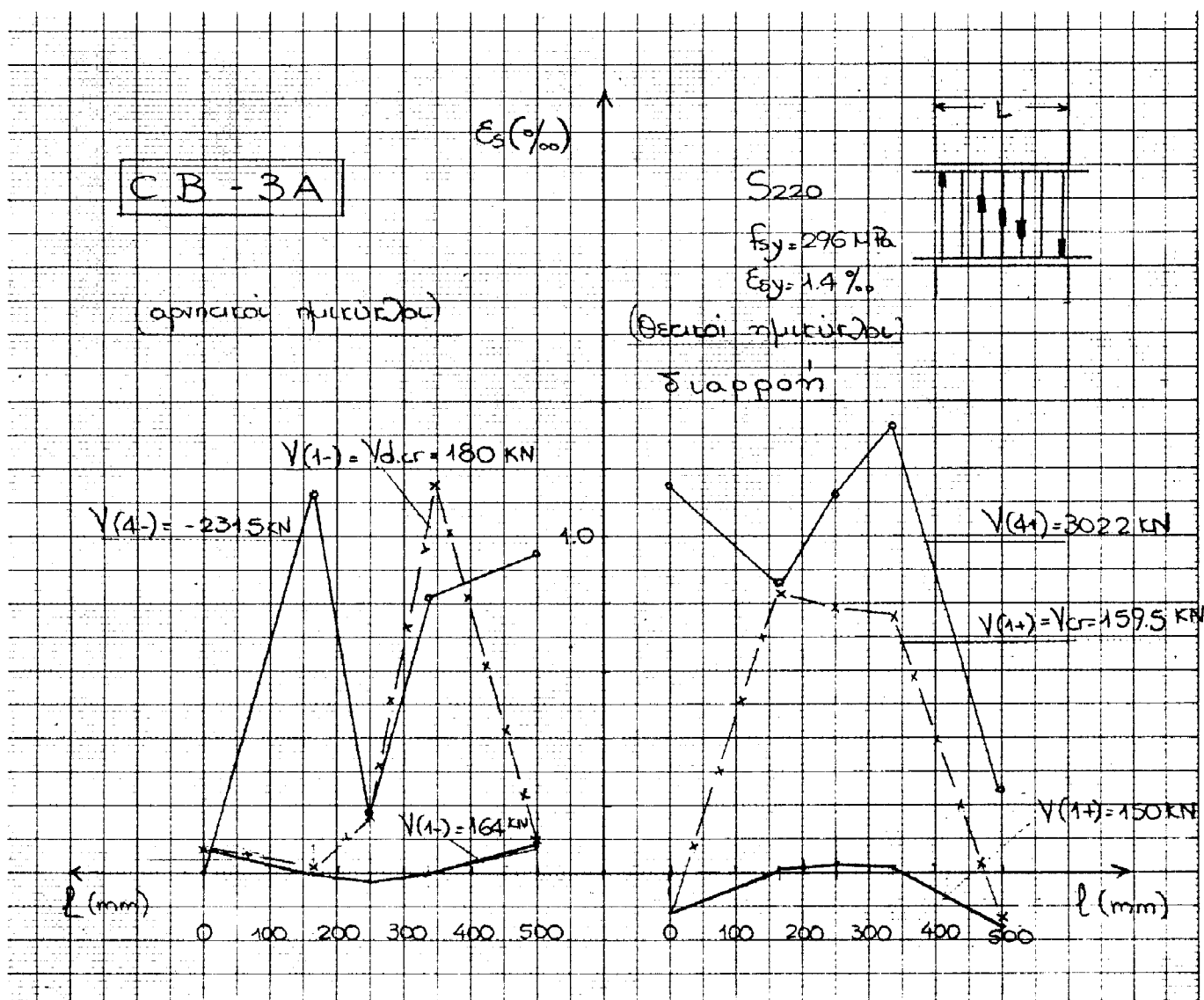


Σχ. 11.1: Τυπική μεταβολή των παραμορφώσεων συνδετήρα συναρτήσει του φορτίου.

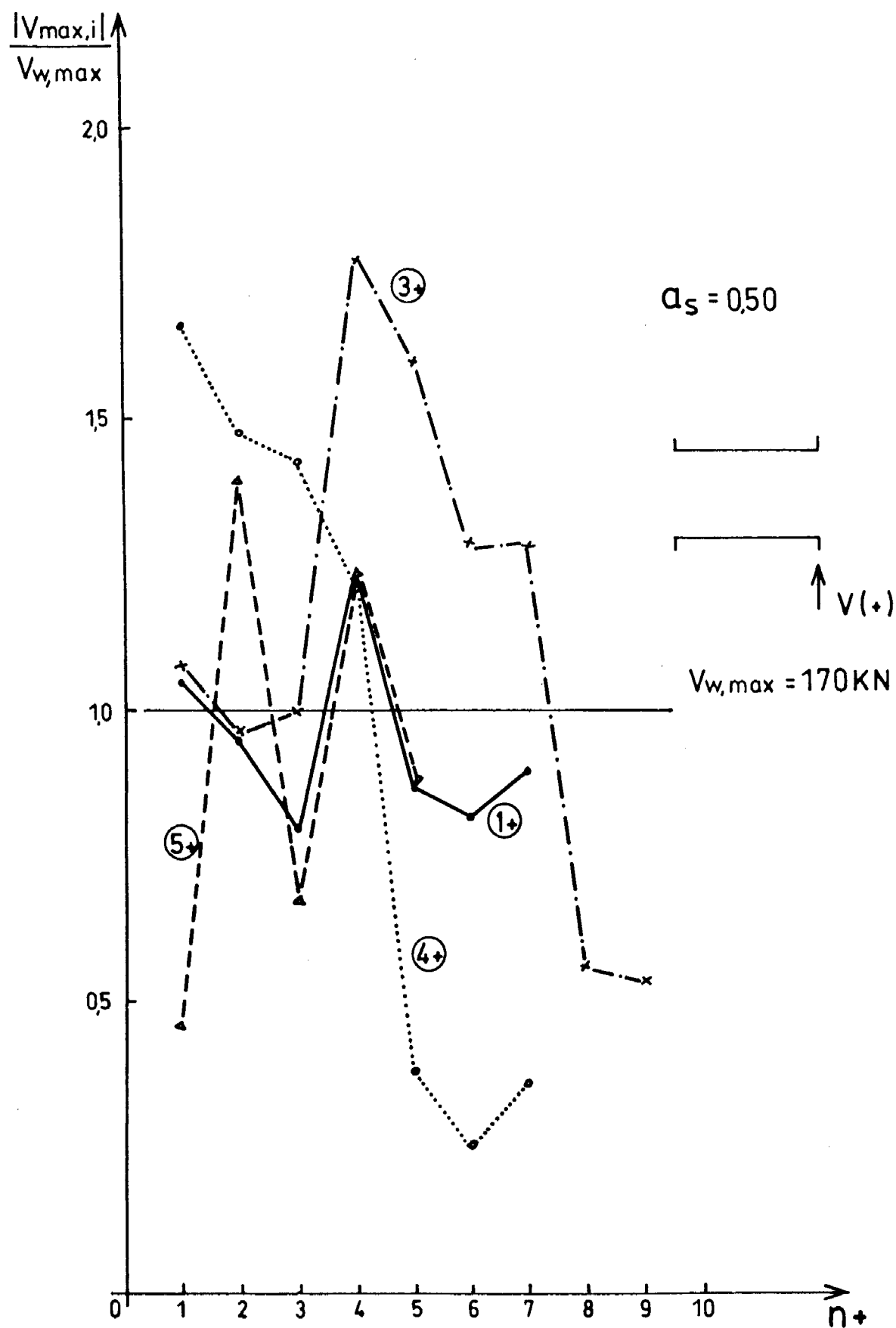




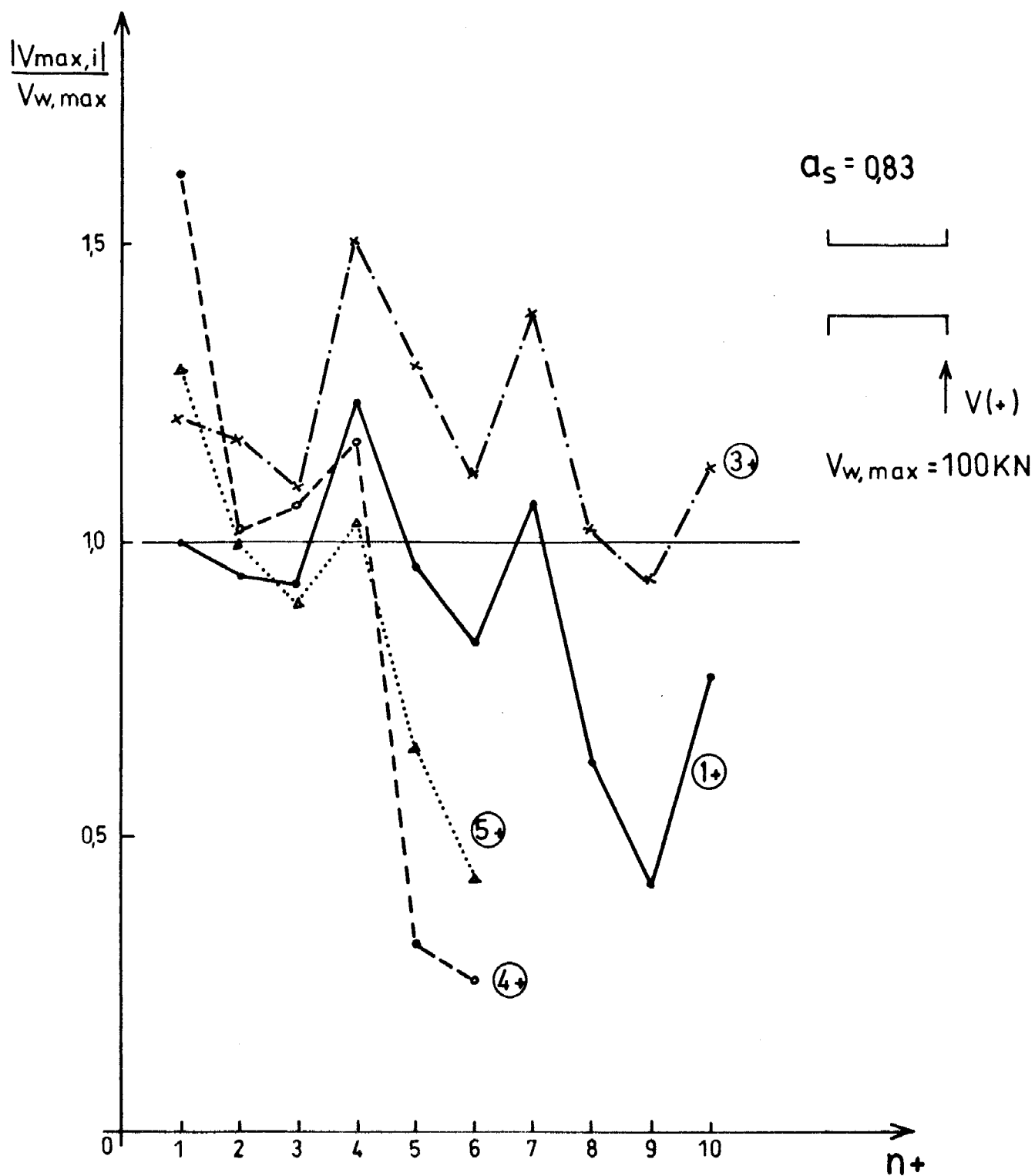
Σχ. 11.3: CB-3B. Μεταβολή των παραμορφώσεων των συνδετήρων κατά μήκος της δοκού συναρτήσει του φορτίου και του πλήθους των ανακυκλίσεων.



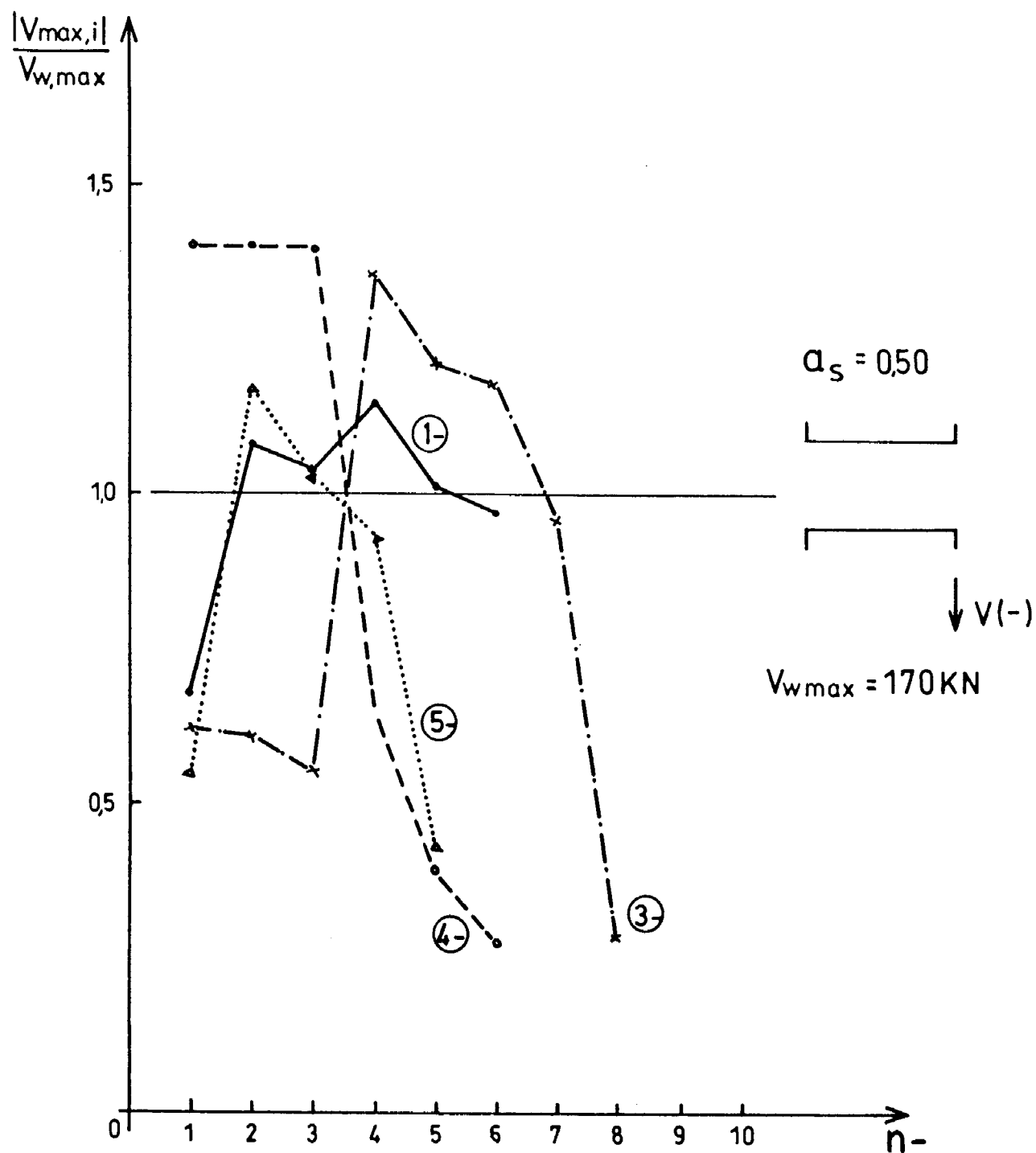
Σχ. 11.4: CB-3A. Μεταβολή των παραμορφώσεων των συνδετήρων κατά μήκος της δοκού με την πάροδο των ανακυκλίσεων.



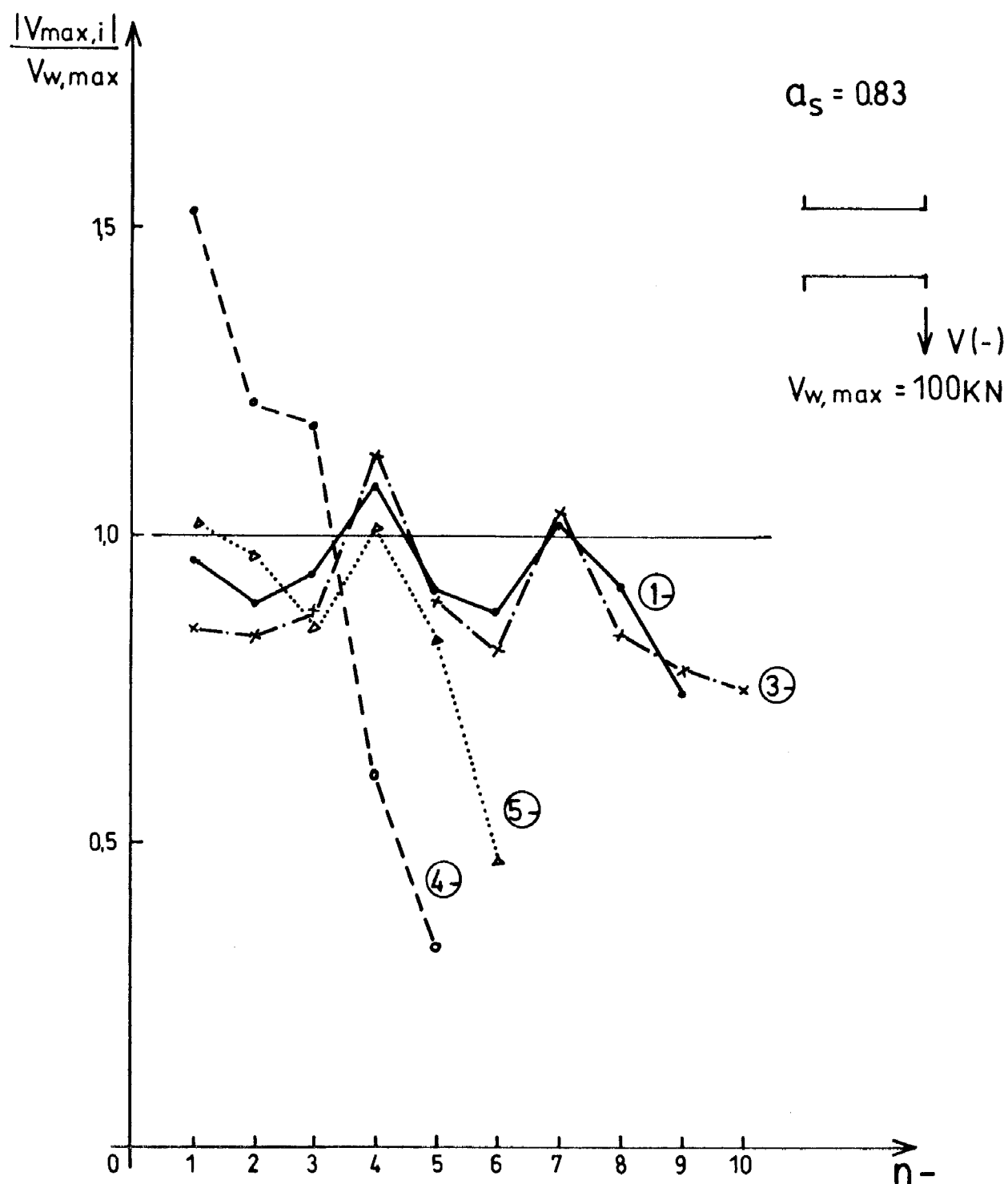
Σχ. 11.5α: Μεταβολή του λόγου της μέγιστης τέμνουσας που ασκείται σε κάθε θετικό ημικύκλο προς την οριακή αντοχή των συνδετήρων, συναρτήσει του αριθμού των ημικύκλων ($a_s = 0.50$).



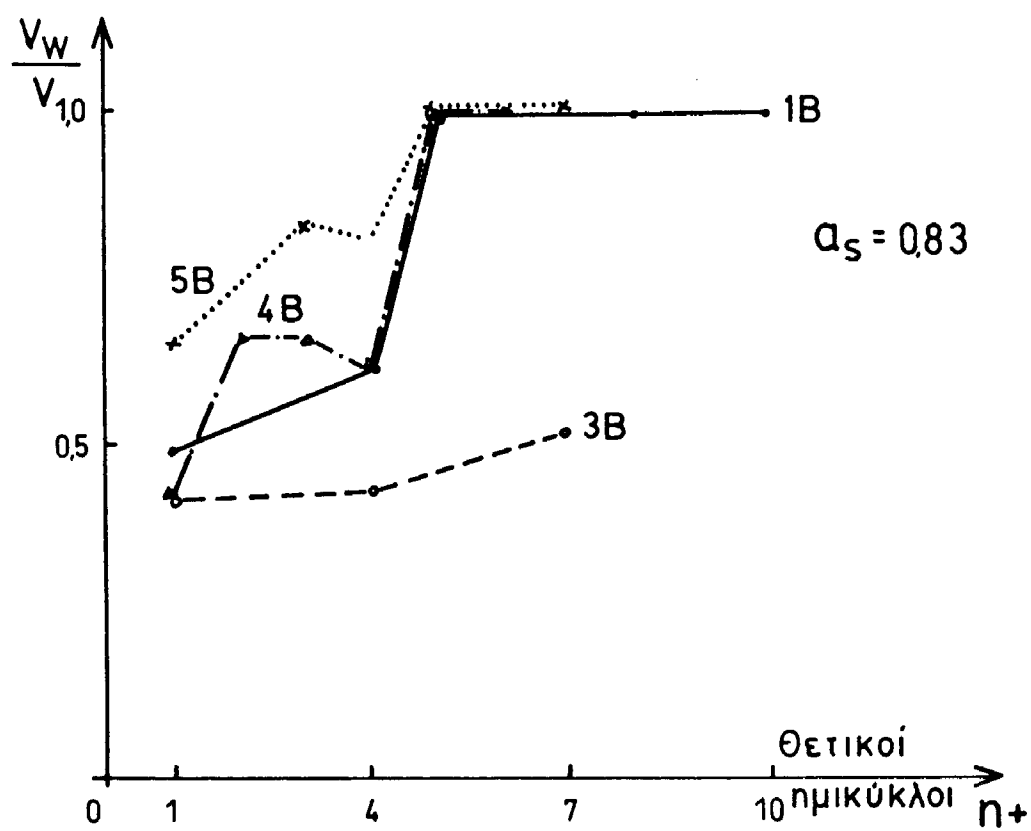
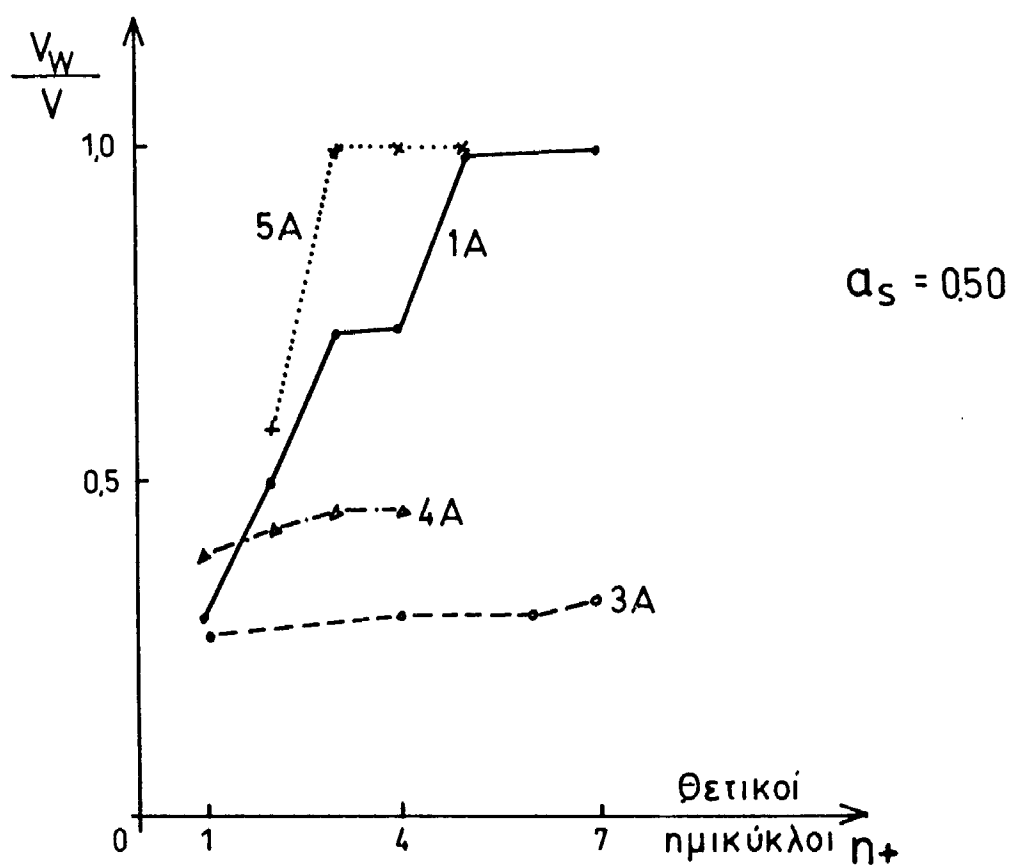
Σχ. 11.5β: Μεταβολή του λόγου της μέγιστης τέμνουσας που ασκείται σε κάθε θετικό ημικύκλο προς την οριακή αντοχή των συνδετήρων, συναρτήσει του αριθμού των ημικύκλων ($\alpha_s = 0.83$).



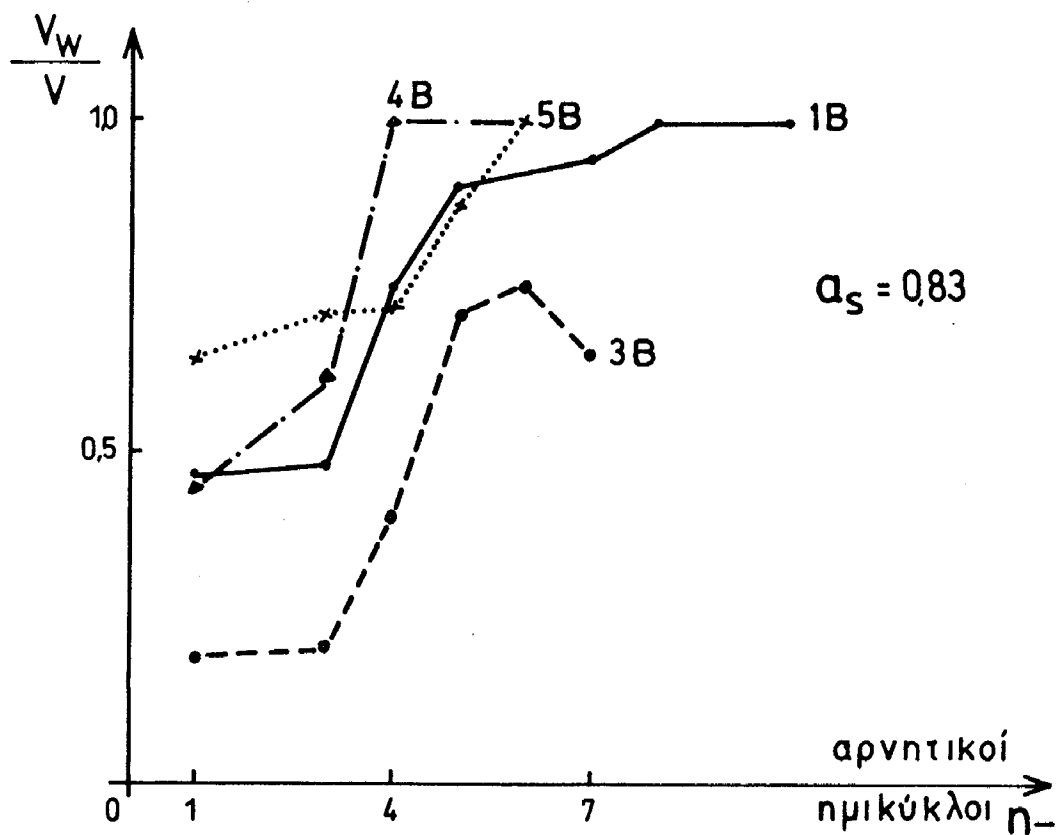
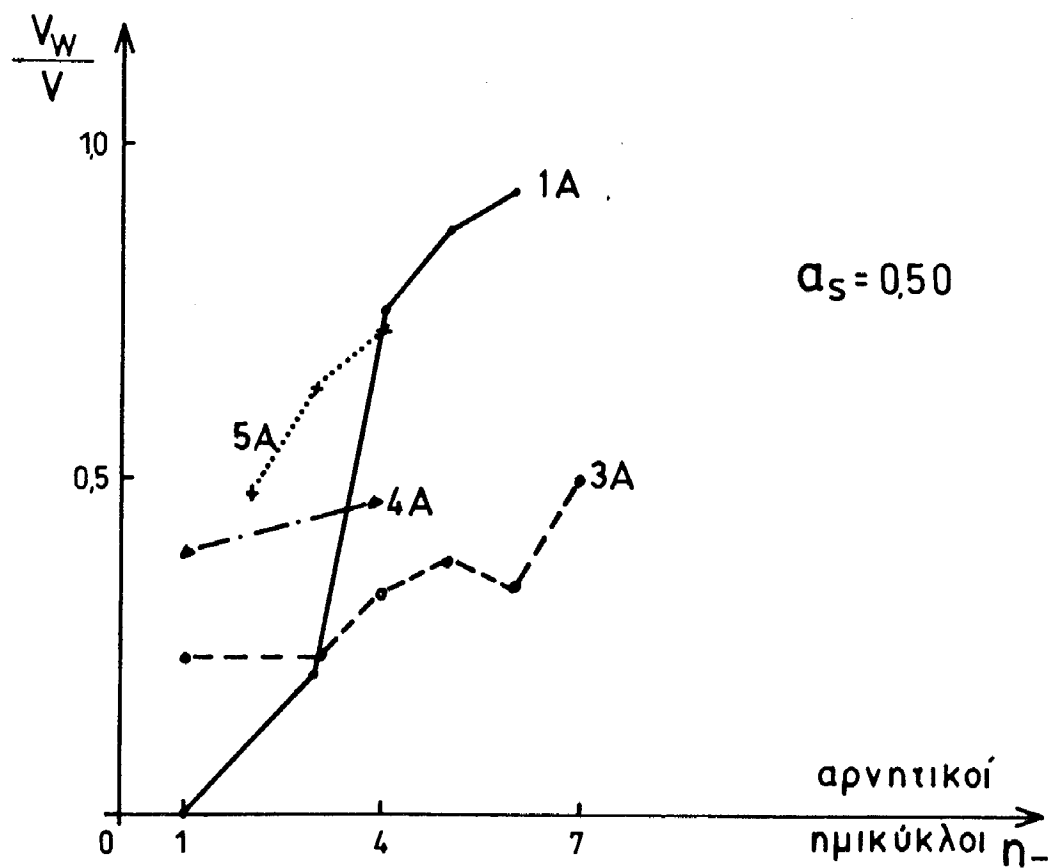
Σχ. 11.6α: Μεταβολή του λόγου της μέγιστης τέμνουσας που ασκείται σε κάθε αρνητικό ημικύκλο προς την οριακή αντοχή των συνδετήρων, συναρτήσει του αριθμού των ημικύκλων ($a_s = 0.50$).



Σχ. 11.6β: Μεταβολή του λόγου της μέγιστης τέμνουσας που ασκείται σε κάθε αρνητικό ημικύκλο προς την οριακή αντοχή των συνδετήρων, συναρτήσει του αριθμού των ημικύκλων ($a_s = 0.83$).



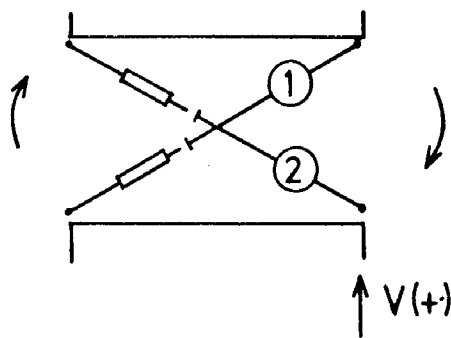
Σχ. 11.7α,β: Τέμνουσα που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες σε κάθε ημικύκλο προς το αντίστοιχο μέγιστο κατ'απόλυτη τιμή επιβαλλόμενο φορτίο, συνάρτησε του αριθμού των ημικύκλων (θετικοί ημικύκλοι).



Σχ. 11.8α,β: Τέμνουσα που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες σε κάθε ημικύκλο προς το αντίστοιχο μέγιστο κατ'απόλυτη τιμή επιβαλλόμενο φορτίο, συνάρτησει του αριθμού των ημικύκλων (αρνητικοί ημικύκλοι).

12. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΓΩΝΙΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΩΝ

Η μεταβολή Δl του μήκους των κυρίων διαγωνίων των δοκών με την πρόοδο των ανακυκλώσεων μετρήθηκε μέσω των βελομέτρων "1" και "2" (βλ. Σχ. 12.1), παριστάνεται δε συναρτήσεως του φορτίου στα Σχ. 12.2-12.11. Οι συμβολισμοί "1" και "2" αντιστοιχούν στις διαγωνίους του Σχ. 12.1. Τα διαγράμματα $V-\Delta l$ δίνονται για τους κύκλους $n = 1, 4, 7$, δηλαδή για τις ανακυκλώσεις κατά τις οποίες επιβάλλεται για πρώτη φορά νέα στάθμη μετακινήσεων.



Σχ. 12.1: Βελόμετρα κατά τις κύριες διαγωνίους των δοκιμών.

Στις δοκούς που δεν ήσαν οπλισμένες με βλήτρα, αμφότερες οι διαγώνιες εμφάνισαν αύξηση του μήκους-τους (εφελκυστικές παραμορφώσεις) ανεξαρτήτως της φοράς του φορτίου. Μεγαλύτερα Δl παρατηρήθηκαν στην διαγώνιο "1" που είναι η πρώτη που "εφελκύεται" κατά την επιβολή του φορτίου ($V+$). Κατά την επιβολή φορτίου αντιθέτου φοράς ($V-$) [οπότε ασκούνται θλιπτικές δυνάμεις κατά την διεύθυνση της "1"], οι εφελκυστικές παραμορφώσεις της "1" σχεδόν μηδενίζονται, ενώ για μεγάλα " n " ($n = 7$) εμφανίζονται και θλιπτικές παραμορφώσεις, ιδίως στις κλασικώς οπλισμένες δοκούς (CB-1A,B).

Στις κλασικώς οπλισμένες δοκούς, κατά την αντιστροφή του φορτίου, παρατηρείται μεγάλη μεταβολή του μήκους των διαγωνίων για μικρές τιμές φορτίου, καθώς κλείνουν οι διαγώνιες ρωγμές που είχαν ανοίξει κατά την προηγούμενη φάση φορτίσεως (κάτι ανάλογο με τις μικρές τιμές ακαμψίας που παρατηρούνται στους βρόχους υστερήσεως: πρβλ. §3).

Το φαινόμενο αυτό είναι λιγότερο έντονο στις δοκούς CB-3A,B με τους χιαστί οπλισμούς στα άκρα, διότι σ' αυτές το

εύρος των διαγωνίων ρωγμών παραμένει μικρό κατά τις ανακυκλίσεις (πρβλ. μορφ. ρηγμ. § 4.3), ενώ δεν παρατηρείται καθόλου στις δοκούς CB-2A,B με τους διαγώνιους οπλισμούς (βλ. Σχ. 12.4,5). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις δοκούς αυτές, μετά την διαγώνια ρηγμάτωση, η τέμνουσα αναλαμβάνεται απευθείας απ'τους διαγώνιους οπλισμούς με μικρή συμμετοχή του σκυροδέματος (πρβλ. § 1.3.3). Έτσι, κατά την αντιστροφή του φορτίου, δεν χρειάζεται να κλείσουν οι ρωγμές για να ενεργοποιηθούν οι μηχανισμοί αναλήψεως τέμνουσας, όπως συμβαίνει με τις διαφορετικά οπλισμένες δοκούς (πρβλ. § 3, διαγράμματα V-δ).

Επίσης, στις διαγωνίως οπλισμένες δοκούς δεν εμφανίζονται γενικώς θλιπτικές παραμορφώσεις των διαγωνίων (βλ. Σχ. 12.4,5), γεγονός που επιβεβαιώνει την έλλειψη συμμετοχής του σκυροδέματος, στην ανάληψη της τέμνουσας, μέσω της θλιβόμενης διαγωνίου.

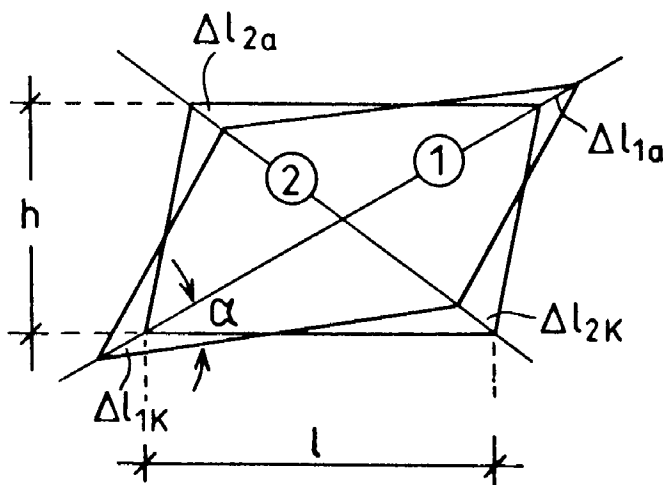
Οι δοκοί που ήσαν οπλισμένες με βλήτρα CB-4,5, σε αντίθεση με τις άλλες δοκούς, εμφάνισαν σημαντικές θλιπτικές παραμορφώσεις κατά μήκος των θλιβόμενων διαγωνίων (βλ. Σχ. 12.8-12.11). Όμως παρατηρείται αύξηση του μήκους της δοκού, όπως φαίνεται απ'τις $[\epsilon_s]$ κατά μήκος των βλήτρων, οι οποίες είναι εφελκυστικές.

Έτσι, στις δοκούς με βλήτρα ενεργοποιείται περισσότερο ο διαγώνιος θλιπτήρας και αυξάνει η συμμετοχή του σκυροδέματος στην ανάληψη της τέμνουσας. Η συμπεριφορά αυτή επιβεβαιώνεται κι απ'τη μορφολογία ρηγματώσεως των δοκών. Όπως είχε αναφερθεί (πρβλ. § 4.4,5), οι δοκοί με βλήτρα εμφάνισαν έντονη διαγώνια ρηγμάτωση κατά μήκος των διαγωνίων (βλ. Φωτ. 43 έως 58), ανεξαρτήτως του λόγου διατμήσεως-τους, σε αντίθεση με τα δοκίμια CB-1,2,3 όπου παρόμοιας μορφής ρηγμάτωση εμφανίστηκε μόνον στην περίπτωση του μικρού λόγου διατμήσεως ($\alpha_s = 0.50$).

Η ενεργοποίηση αυτή του διαγώνιου θλιπτήρα, ακόμα και στην περίπτωση μεγαλύτερων λόγων " α_s ", οδηγεί σε αύξηση της φέρουσας ικανότητας των δοκών καθώς και της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά τους πρώτους κύκλους φορτίσεως, συγκριτικά με τα άλλα δοκίμια (πρβλ. § 3,8). Ταυτοχρόνως, όμως, οδηγεί και σε έντονη ρηγμάτωση και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα την πρόωρη μείωση της αποκρίσεως (πρβλ. § 5) και την αστοχία των δοκών αυτών.

Στον Πίνακα 12.1 φαίνονται οι παραμορφώσεις ε_1 - βελ. "1" - και ε_2 - βελ. "2" - (ο/οο) των κυρίων διαγωνίων των δοκιμίων, καθώς και η γωνιακή παραμόρφωση $\Delta\varphi$ (βλ. Σχ. 12.12), για φορτία $V = V_{\max}$ και $V = 1/2 V_{\max}$ ($n = 1, 4, 7$). Δίδονται τιμές των ε_1 , ε_2 , $\Delta\varphi$ και για τις δύο φορές φορτίσεως: (+) και (-).

Παρατηρούμε ότι για ίδια στάθμη φορτίου ($V=1/2 V_{\max}$) οι τιμές των ε_1 , ε_2 και $\Delta\varphi$ αυξάνουν με την πάροδο των ανακυκλώσεων. Επίσης, οι δοκοί CB-B με τον μεγαλύτερο λόγο διατμήσεως ($\alpha_s = 0.83$) είναι γενικώς πιο εύκαμπτες (μεγαλύτερες τιμές ε_1 , ε_2 , $\Delta\varphi$) απ' τις αντίστοιχες δοκούς CB-A ($\alpha_s = 0.50$). Παρατηρείται ακόμη ότι γενικώς οι παραμορφώσεις της διαγωνίου "1" είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες της διαγωνίου "2" για την αντίθετη φορά φορτίσεως: $\varepsilon_1(+) \approx \varepsilon_2(-)$.



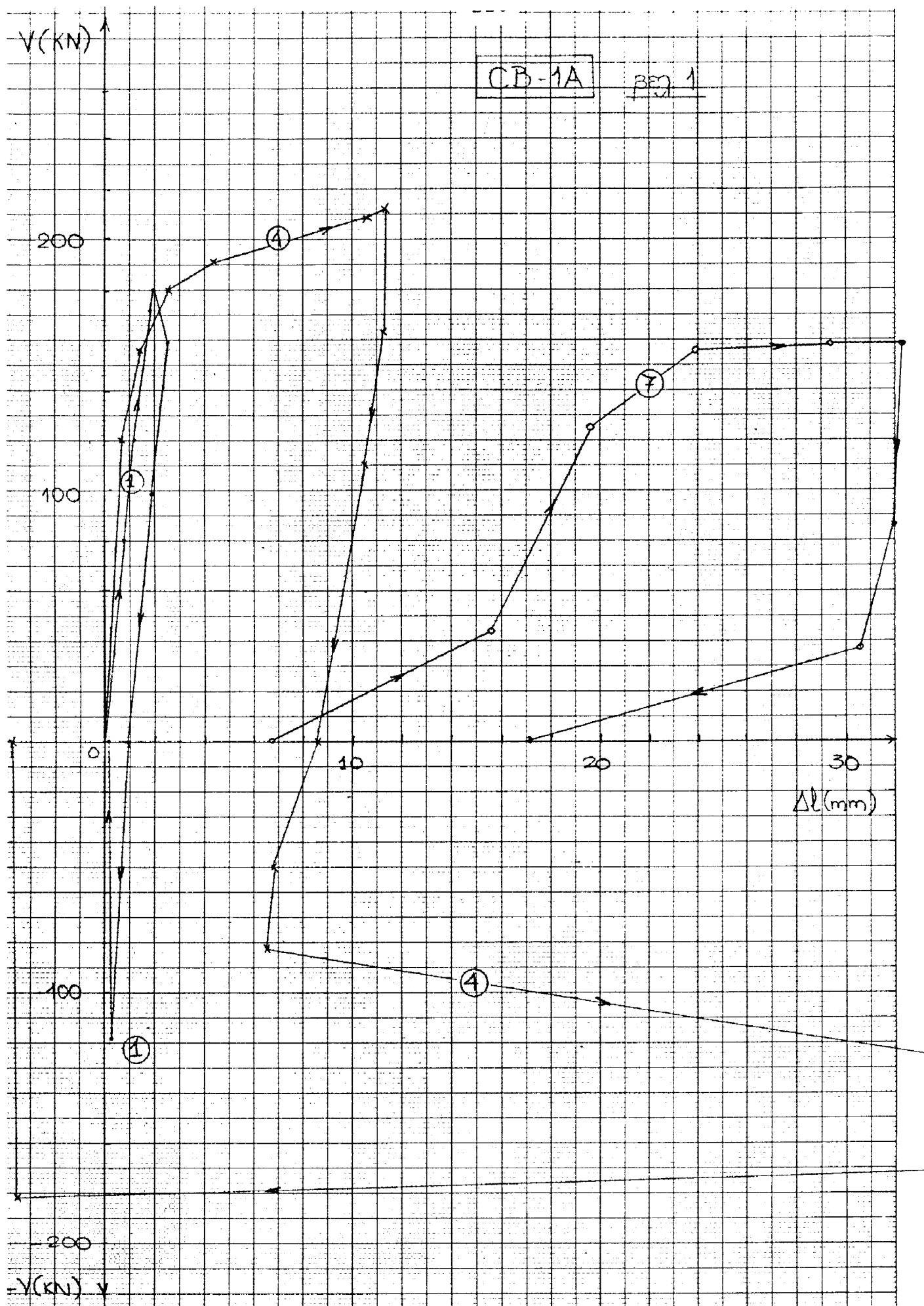
$$\Delta l_1 = \Delta l_{1a} + \Delta l_{1k}$$

$$\Delta l_2 = \Delta l_{2a} + \Delta l_{2k}$$

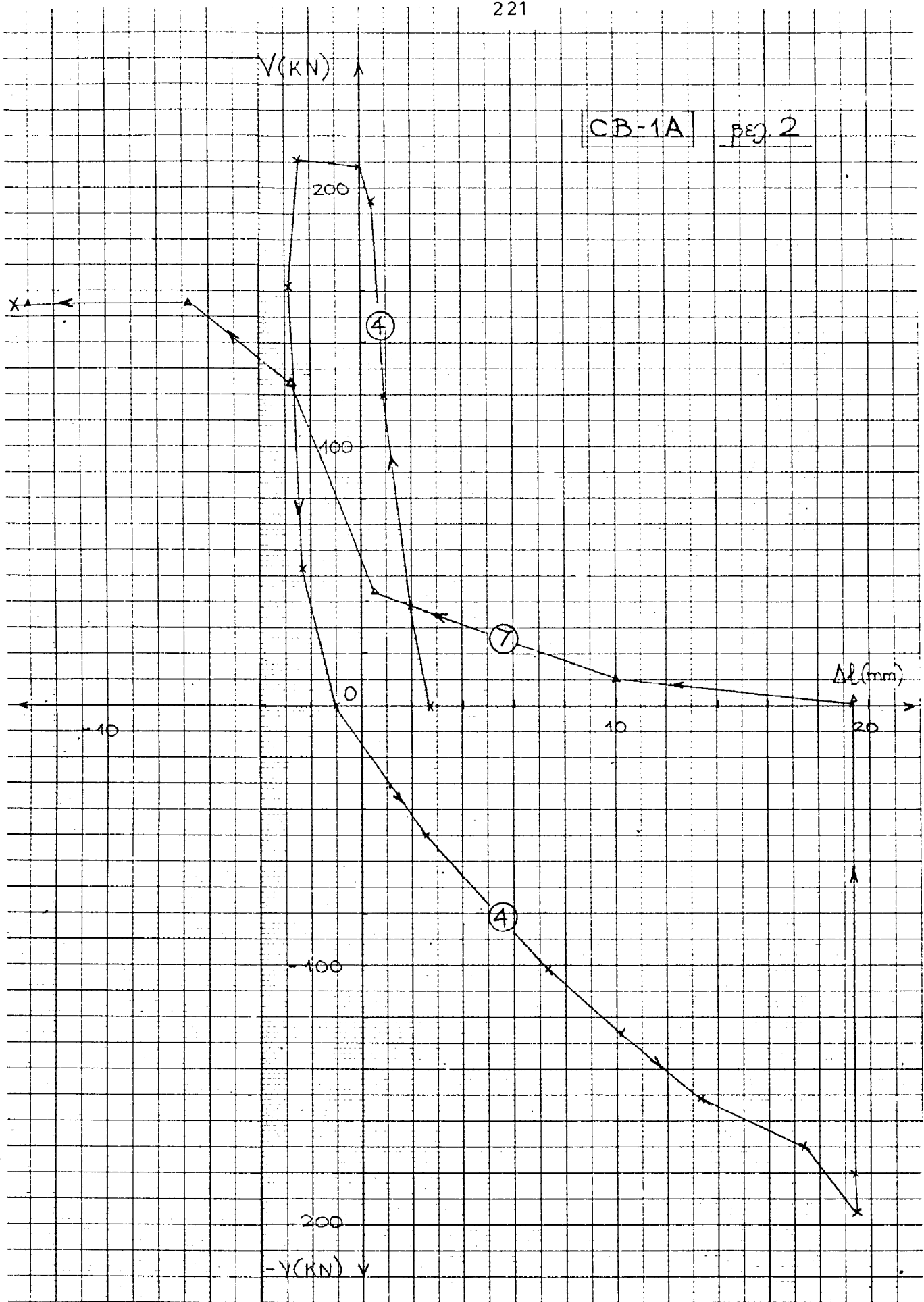
$$\Delta\varphi = \frac{\Delta l_1 \cdot \sin\alpha}{l} - \frac{\Delta l_2 \cdot \cos\alpha}{h}$$

όπου Δl_i : + εφελκυσμός
- θλίψη

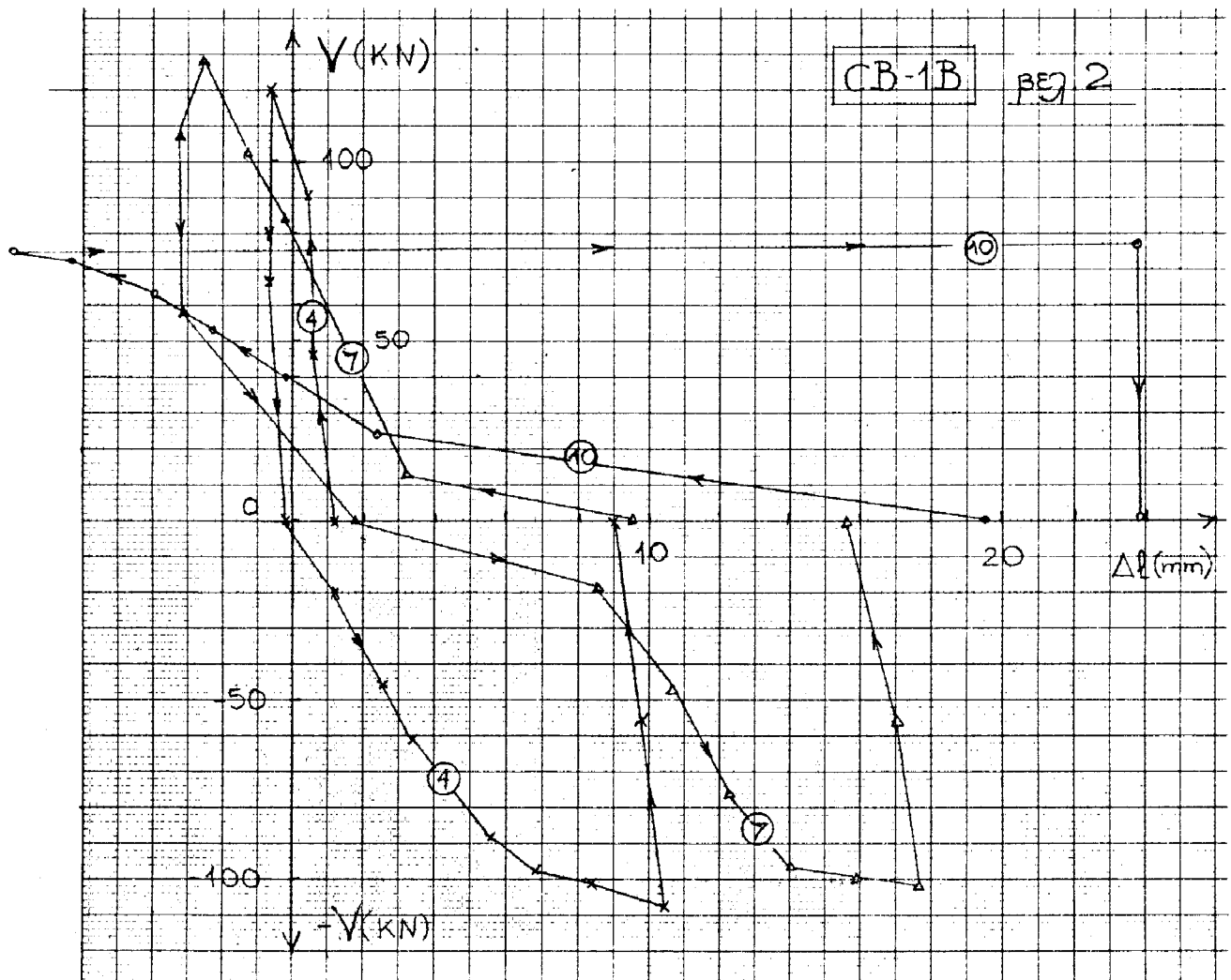
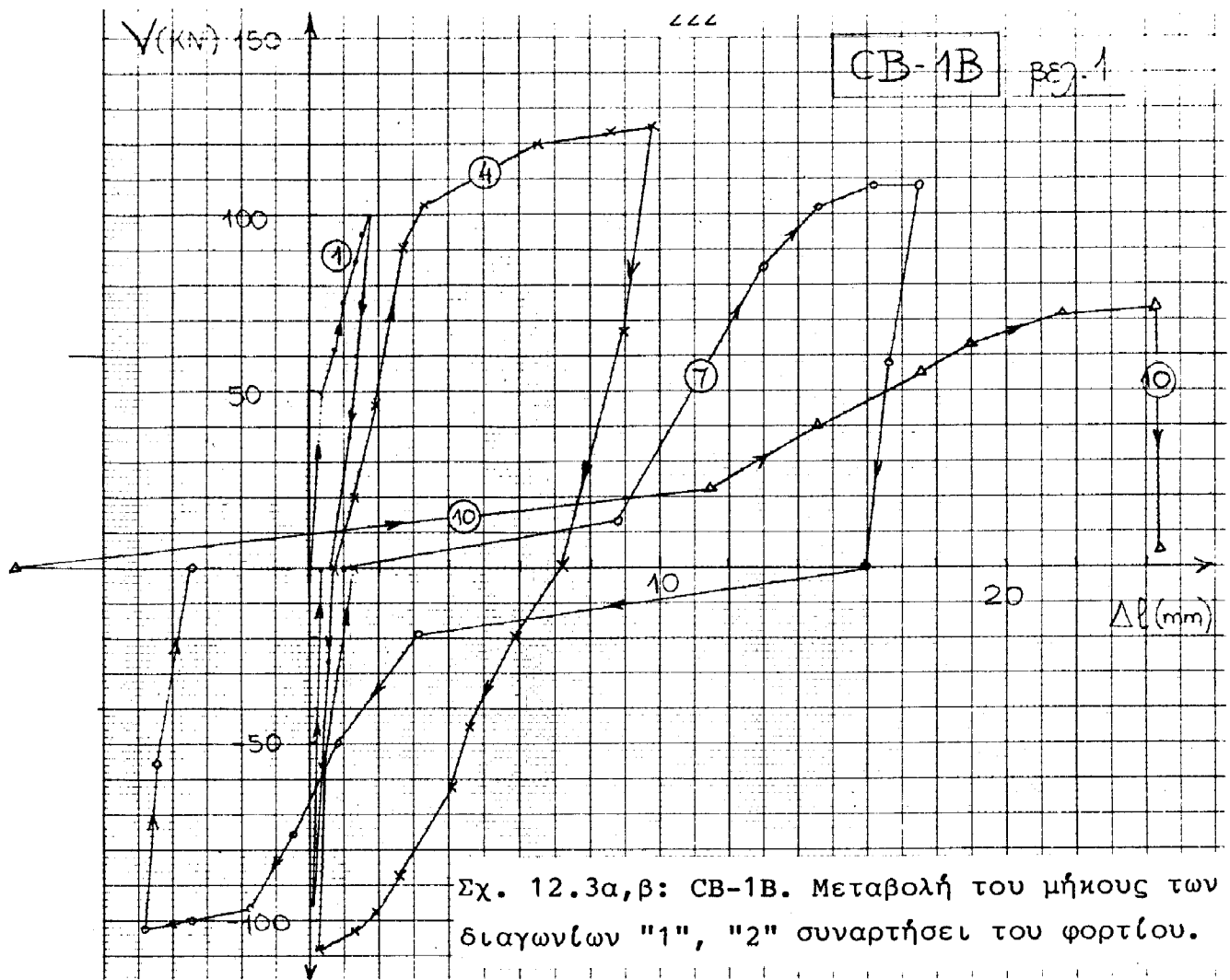
Σχ. 12.12: Τρόπος υπολογισμού της γωνιακής παραμορφώσεως $\Delta\varphi$ των δοκών.

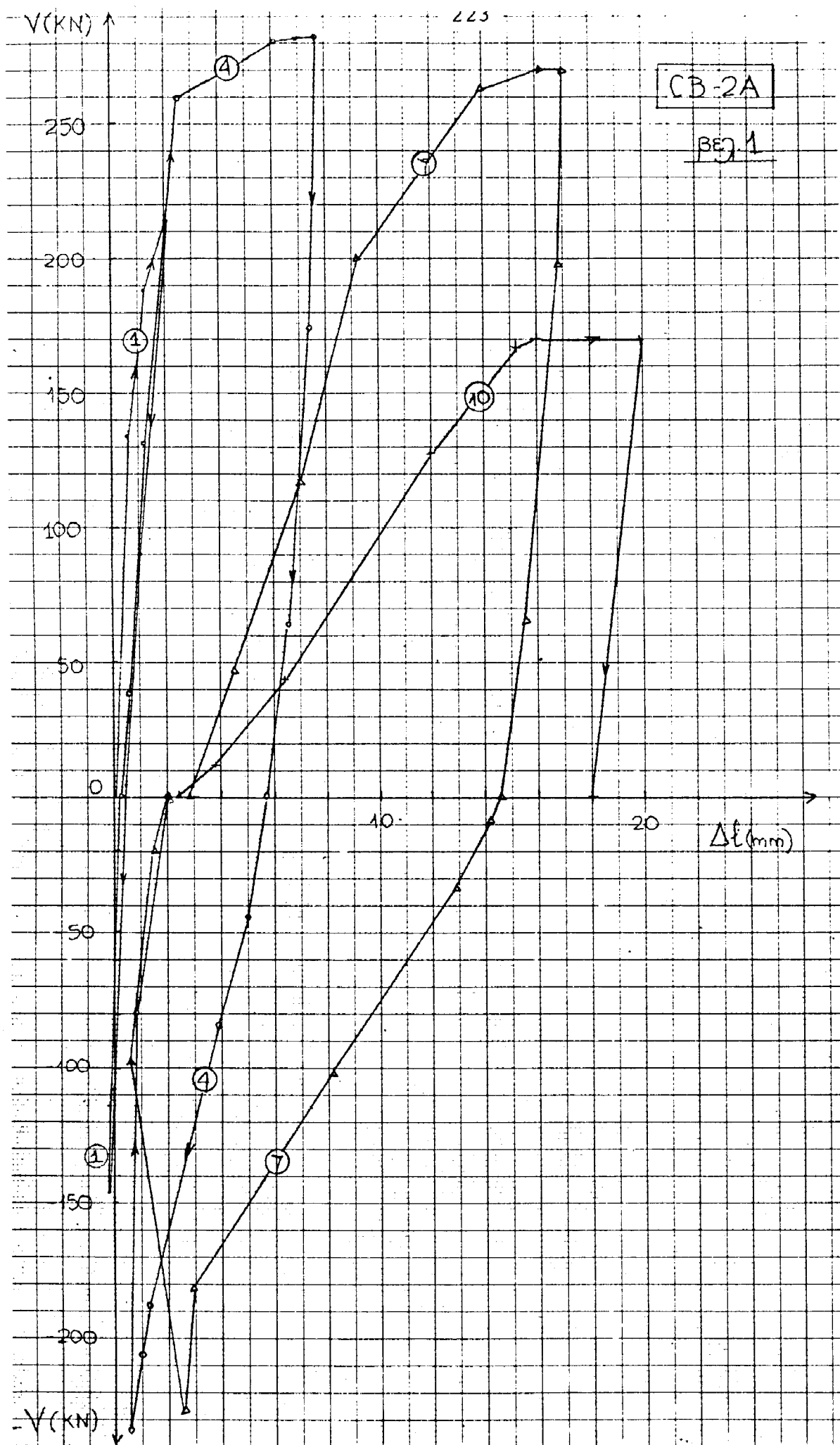


Σχ. 12.2α: CB-1A. Μεταβολή του μήκους της διαγωνίου "1" συναρτήσει του φορτίου.

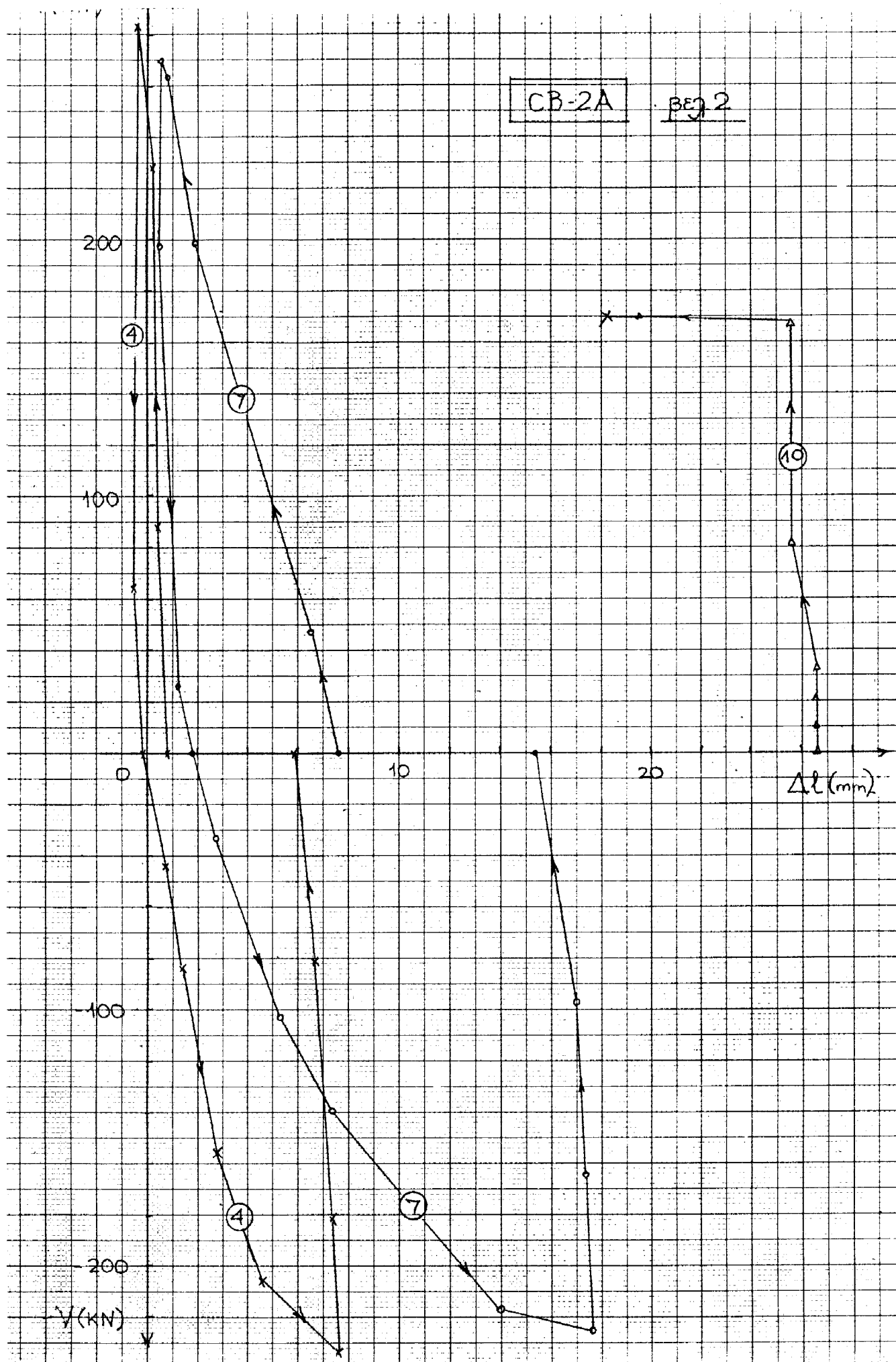


Σχ. 12.2β: CB-1A. Μεταβολή του μήκους της διαγωνίου "2" συναρτήσει του φορτίου.

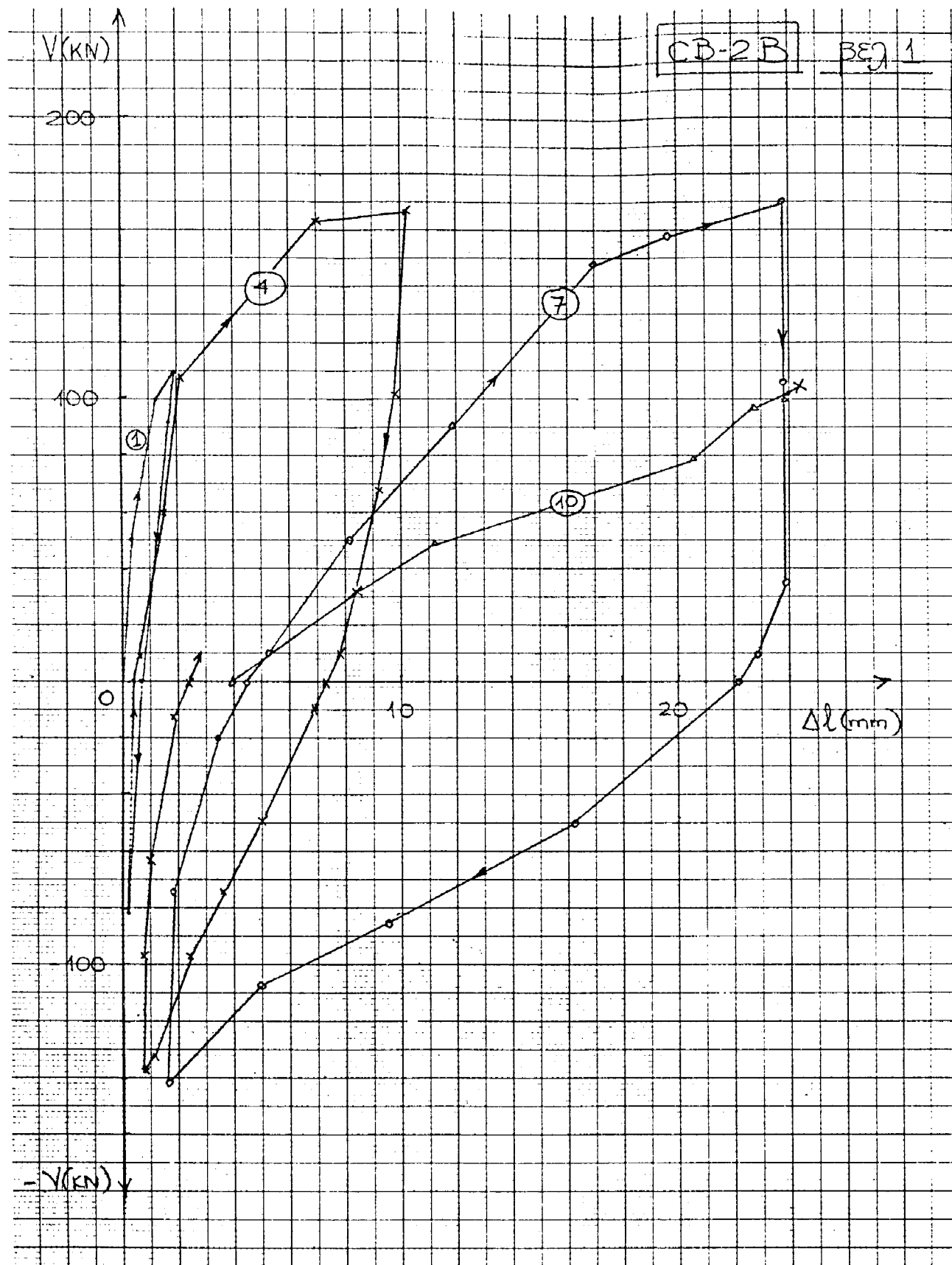




Σχ. 12.4α: CB-2A. Μεταβολή του μήκους της διαγωνίου "1" συναρτήσει του φορτίου.

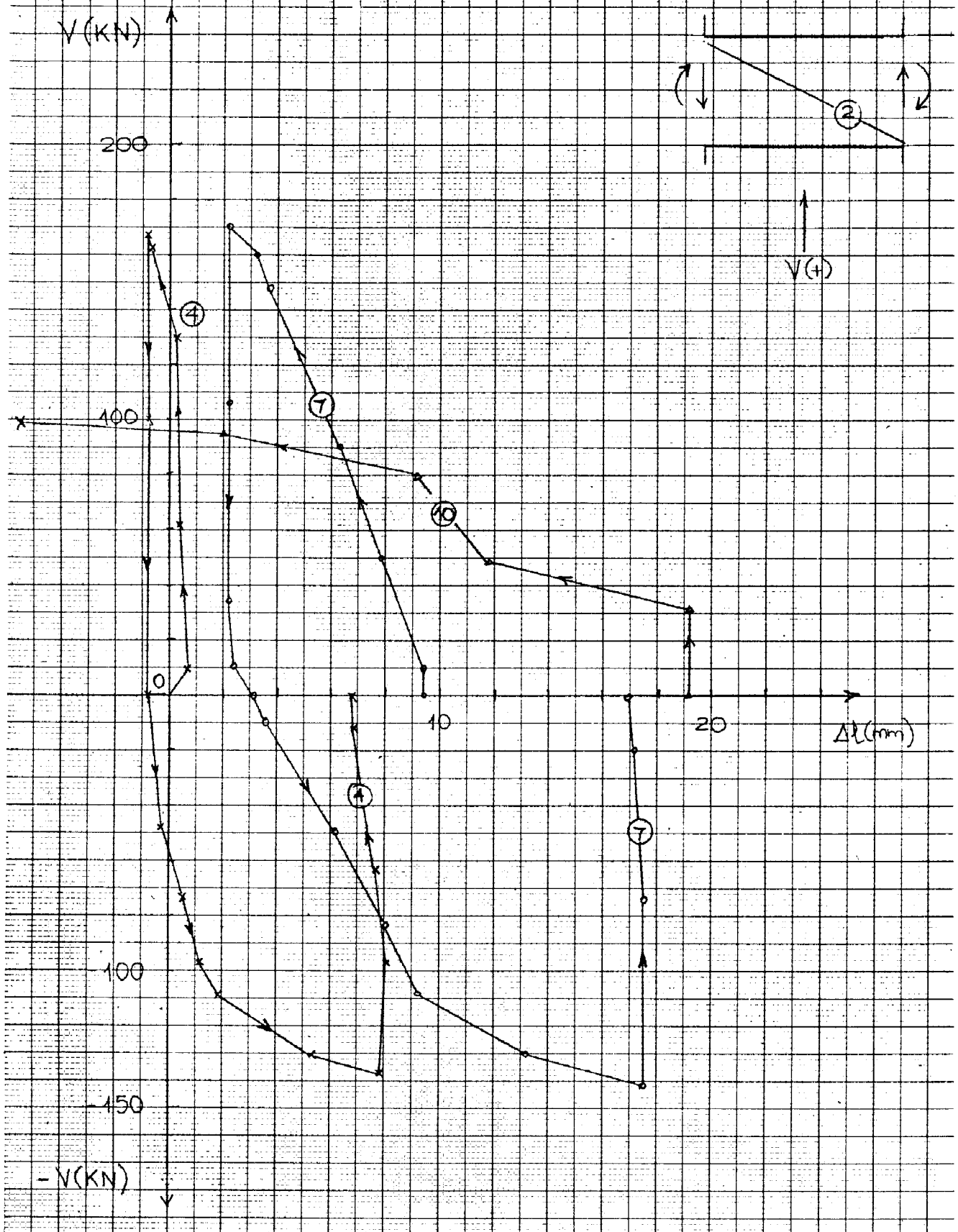


Σχ. 12.4β: CB-2A. Μεταβολή του μήκους της διαγωνίου "2" συναρτήσει του φορτίου.

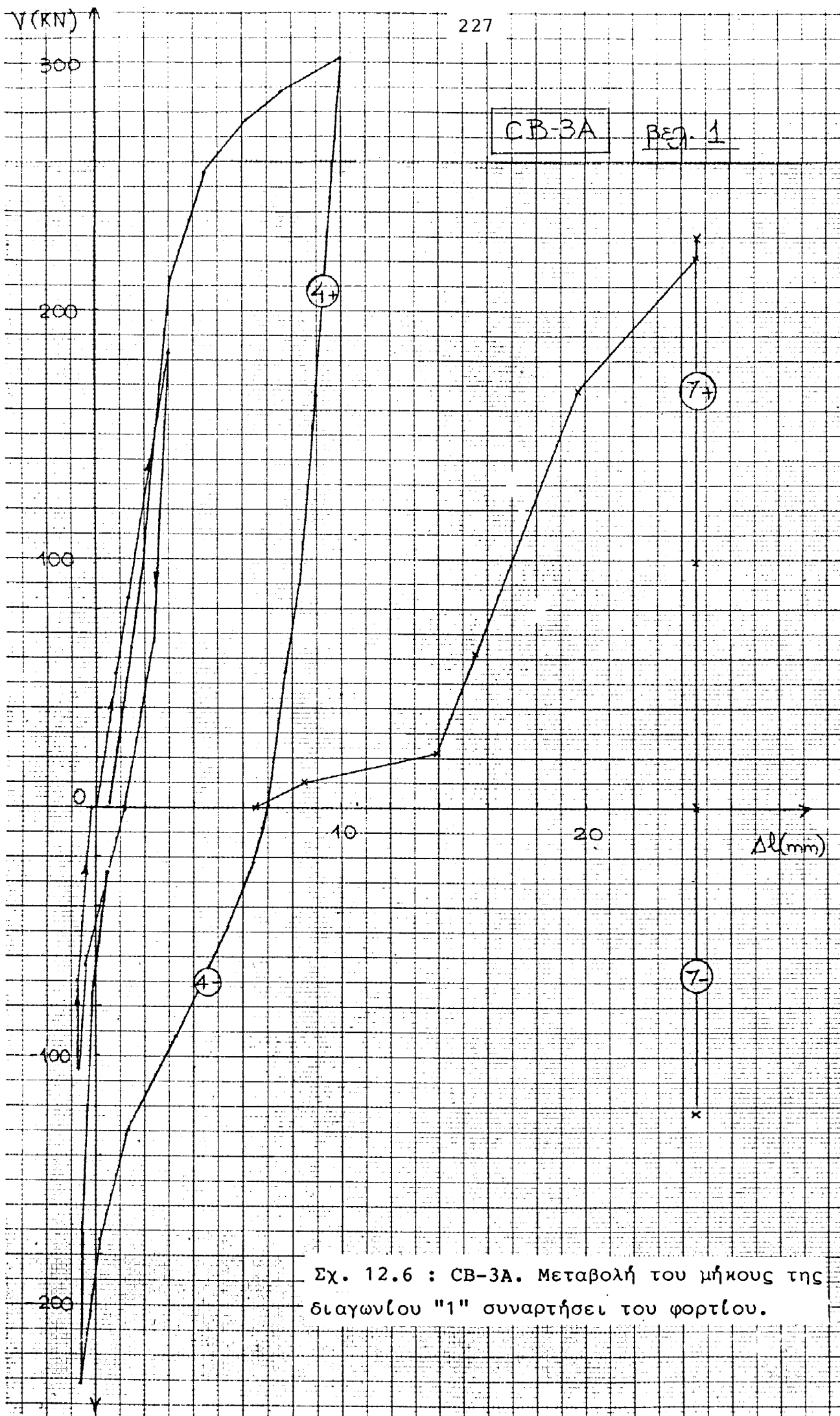


Σχ. 12.5α: CB-2B. Μεταβολή του μήκους της διαγωνίου "1" συναρτήσει του φορτίου.

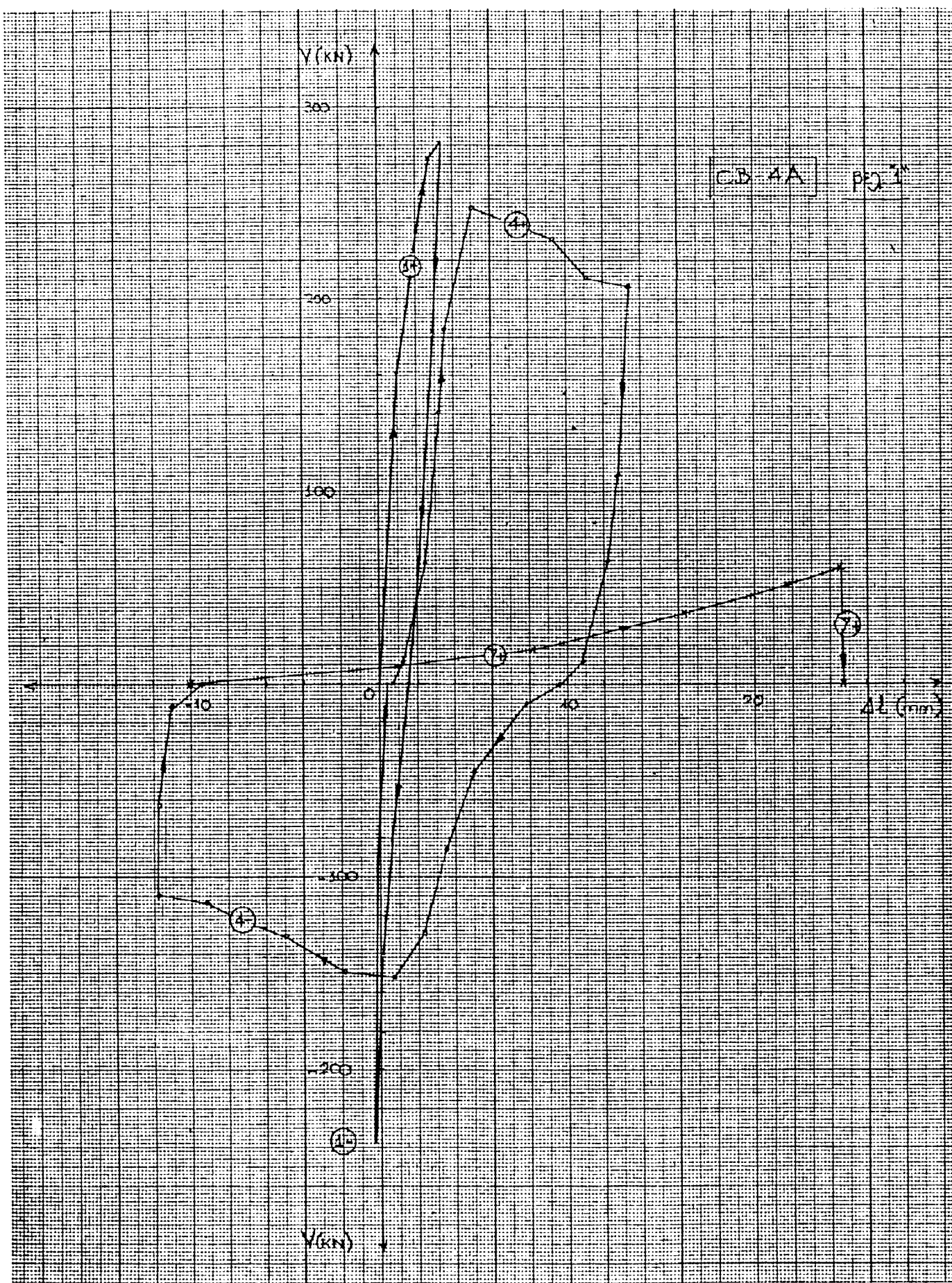
CB-2B - βε. 2



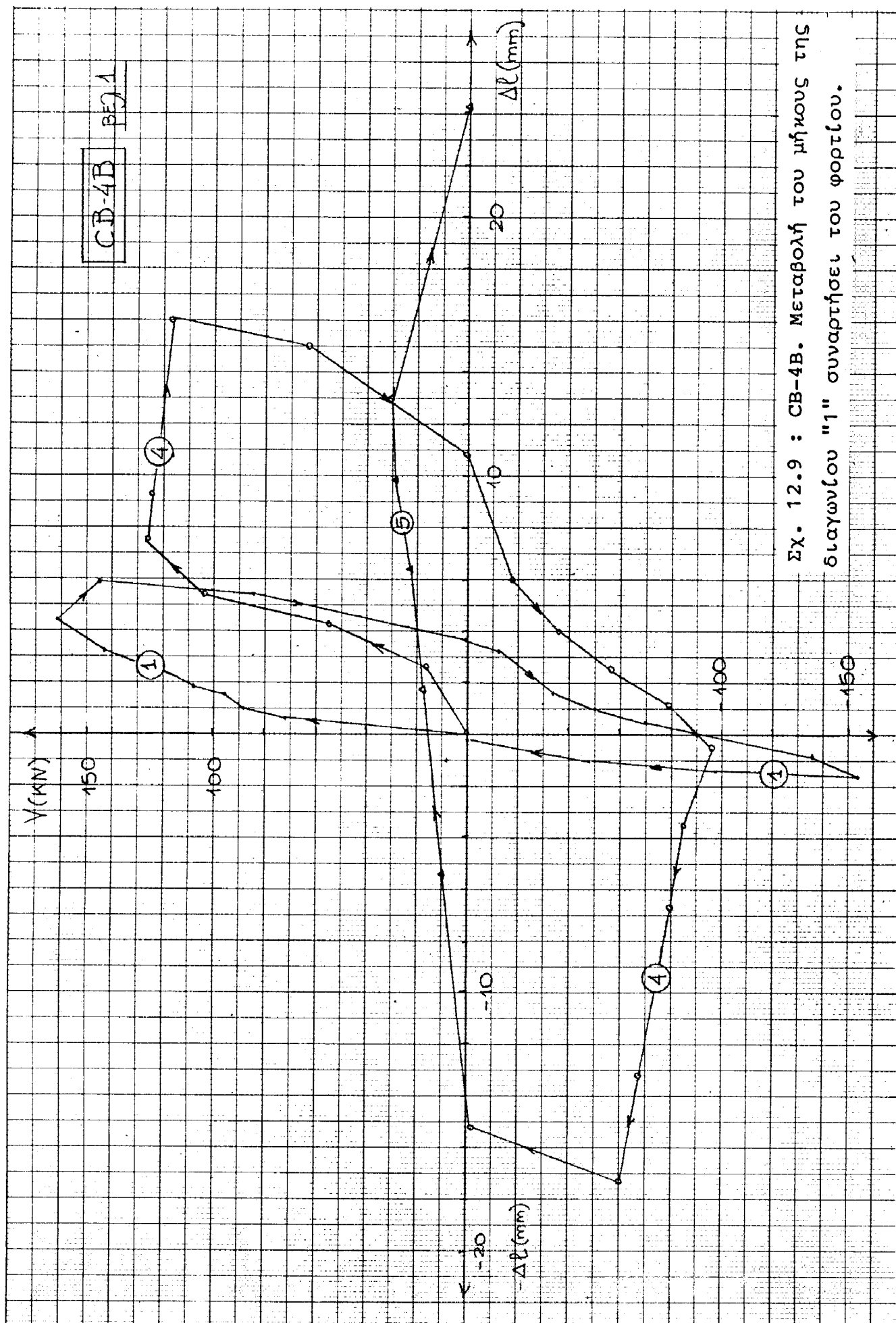
Σχ. 12.5β: CB-2B. Μεταβολή του μήκους της διαγωνίου "2" συναρτήσει του φορτίου.



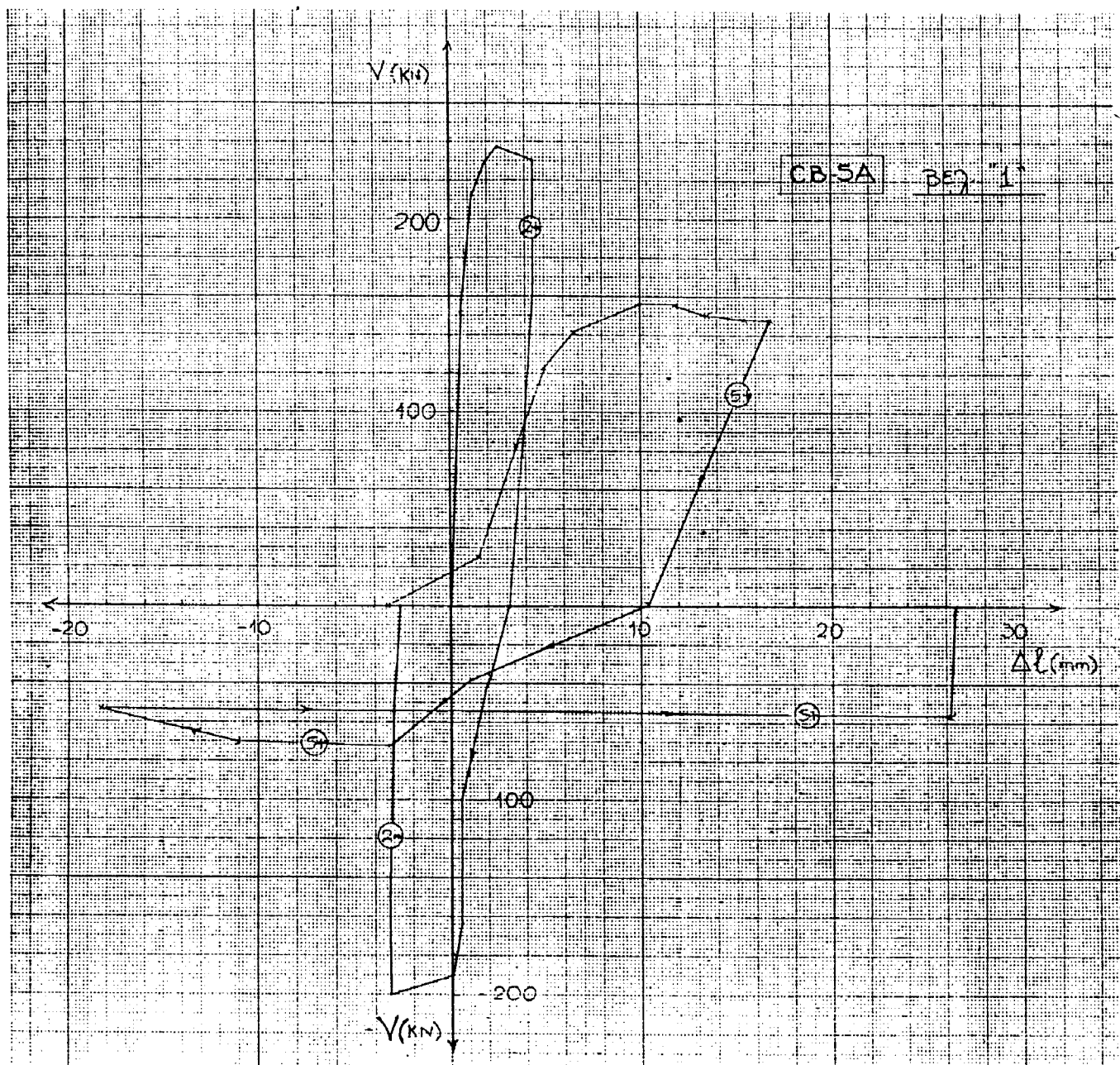
Σχ. 12.6 : CB-3A. Μεταβολή του μήκους της διαγωνίου "1" συναρτήσει του φορτίου.



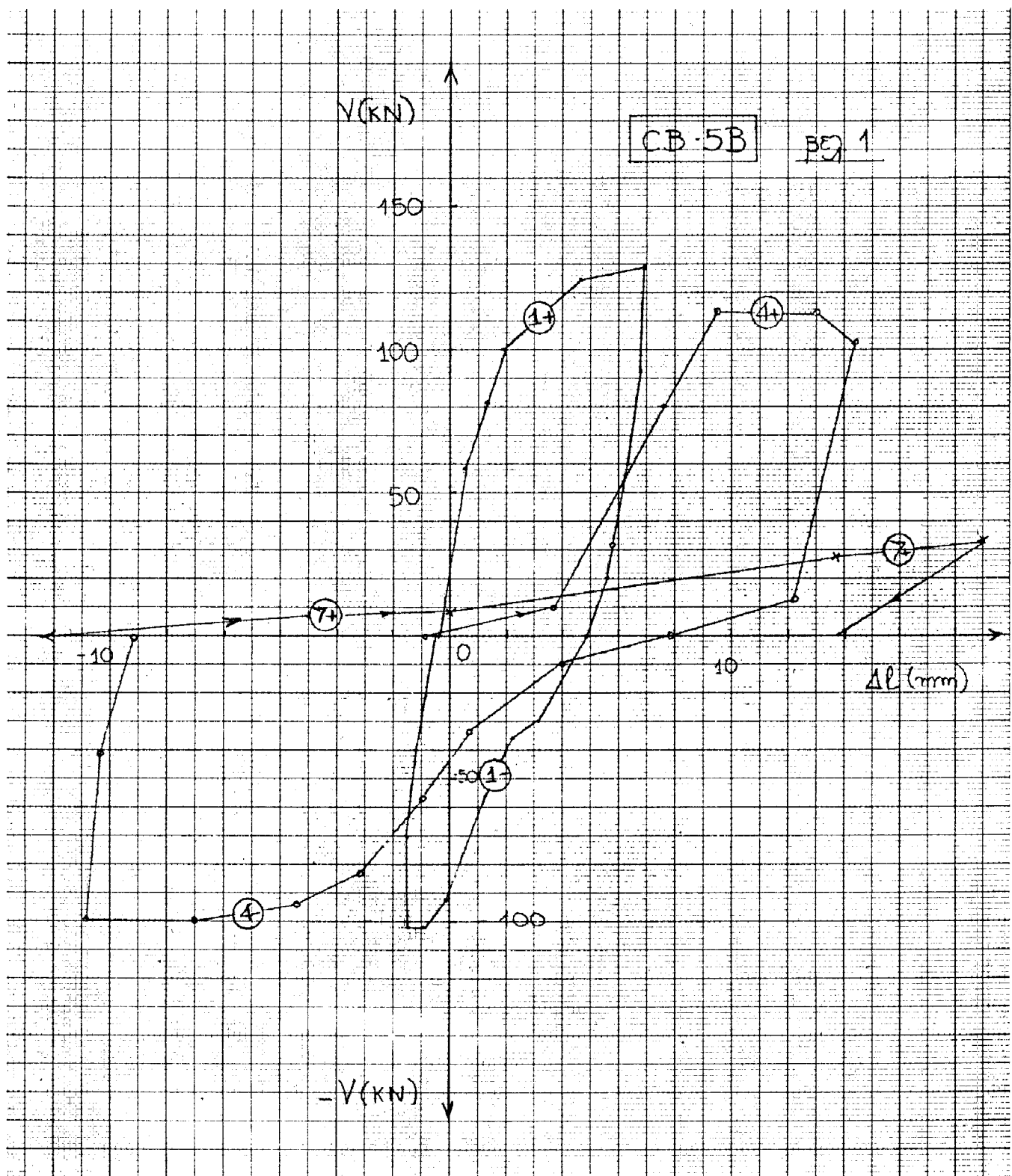
Σχ. 12.8 : CB-4A. Μετάβολή του μήκους της διαγωνίου "1" συναρτήσει του φορτίου.



Σχ. 12.9 : CB-4B. Μεταβολή του μήκους της διαγωνίου "1" συναρτήσει του φορτίου.



Σχ. 12.10: CB-5A. Μεταβολή του μήκους της διαγωνίου "1" συναρτήσεως του φορτίου.



Σχ. 12.11: CB-5B. Μεταβολή του μήκους της διαγωνίου "1" συναρτήσει του φορτίου.

Δοκ. α/α	Χ ύ κ λ ο ύ	$\varepsilon_1 = \Delta l_1/l_1$ (ο/οο)				$\varepsilon_2 = \Delta l_2/l_2$ (ο/οο)				$\Delta\phi$ (radx10 ³)			
		$V = 1/2 V_{\max}$			$V = V_{\max}$	$V = 1/2 V_{\max}$			$V = V_{\max}$	$V = 1/2 V_{\max}$			$V = V_{\max}$
		n=1	n=4	n=7		n=1	n=4	n=7		n=1	n=4	n=7	
CB-1A	+	1.4	0.8	26.6	16.1	0	1.4	-2.8	-3.4	1.4	-0.6	29.4	19.5
	-	0.6	22.6	-	6.5	0	9.9	-	27.6	0.5	12.7	-	-34.0
1B	+	1.4	3.8	20.2	16.8	0	1.0	1.4	-4.5	1.4	2.1	18.3	24.6
	-	0.7	7.2	0.8	0.3	1.7	5.1	18.9	17.8	-2.2	-1.2	-30.6	-29.5
2A	+	1.1	2.0	10.7	11.0	0	0.4	5.1	-0.6	1.0	1.6	5.7	11.6
	-	-0	4.2	10.5	0.8	0	2.8	8.5	10.8	0	1.4	2.0	-10.0
2B	+	1.7	3.1	19.7	40.8	0	0.7	1.1	3.6	1	0.7	-6.5	18.4
	-	0.3	6.9	21.3	2.7	0	0.7	12.7	29.8	0	3.0	-8.4	-47.2
3A	+	3.4	3.4	26.9	14.1	0	4.4	30.3	4.4	3.4	-1.0	-3.4	9.8
	-	-1.1	3.7	34.6	-0.8	3.5	10.2	35.2	17.7	-4.7	-6.5	-0.5	-18.5
3B	+	1.4	2.7	14.4	14.8	-0.7	0.3	0.9	1.4	2.0	1.1	7.2	6.6
	-	0.7	6.9	2.7	0.3	0.7	1.9	16.1	11.8	-0.7	1.0	-25.2	-19.5
4A	+	1.4	4.5	-	4.8	0	-1.3	-	-1.6	1.4	5.8	-	3.3
	-	0	-11.3	-	-0.4	1.1	1.8	-	3.1	-1.0	-9.5	-	-3.5
4B	+	1.4	8.2	-	7.5	-1.0	-1.5	-	-3.4	2.5	7.5	-	10.2
	-	0.7	-15.4	-	2.7	0.9	40.6	-	8.6	-1.0	-77.0	-	-16.0
5A	+	0.7	7.1	-	3.7	0	-	-	-	0.6	-	-	4.2
	-	0.8	-	-	-4.5	3.0	-	-	-	-	-	-	-
5B	+	1.2	11.7	-	12.0	-0.5	-3.4	-	-3.4	1.6	12.7	-	12.9
	-	2.6	-0.7	-	-18.9	2.7	10.1	-	8.1	-3.0	-17.3	-	-24.8

Πίνακας 12.1: Τιμές των παραμορφώσεων $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ των κυρίων διαγωνίων

καθώς και της γωνιακής παραμορφώσεως $\Delta\phi$ των δοκιμών.

13. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ

Κατά την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας, επισημάνθηκε η αδυναμία των διαφόρων κριτηρίων να περιγράψουν ικανοποιητικά τη συμπεριφορά όλων των δοκιμών. Έτσι, η αξιολόγηση της συμπεριφοράς των δοκών συζεύξεως (επιρροή του διαφορετικού τρόπου οπλίσεως και του λόγου διατμήσεως) γίνεται λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια που εξετάστηκαν.

Στα Σχ. 13.1 έως 13.5 παριστάνονται, για κάθε τρόπο οπλίσεως, οι τιμές των αντιπροσωπευτικότερων παραμέτρων συμπεριφοράς των δοκών, συναρτήσει του λόγου διατμήσεως α_s , στα δε Σχ. 13.6,7 παριστάνονται οι ίδιες παράμετροι συναρτήσει του τρόπου οπλίσεως.

13.1 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΟΠΛΙΣΕΩΣ

Επιβεβαιώθηκε η πολύ καλή συμπεριφορά των δοκών με δισ-διαγώνιο οπλισμό καθώς και η κακή συμπεριφορά των κλασικώς οπλισμένων δοκών (ιδιαίτέρως για τον χαμηλό λόγο διατμήσεως $\alpha_s = 0.50$). Επισημάνθηκε επί πλέον η καλή συμπεριφορά των δοκών με τους χιαστί οπλισμούς στα άκρα, ενώ η συμπεριφορά των δοκιμών με βλήτρα δεν ήταν ικανοποιητική.

Στα επόμενα περιγράφεται αναλυτικότερα η συμπεριφορά των δοκών συζεύξεως που εξετάστηκαν, αναλόγως του τρόπου οπλίσεώς-τους.

13.1.1 Κλασική όπλιση (δοκός CB-1)

Η συμπεριφορά της δοκού CB-1A ($\alpha_s = 0.50$) ήταν κακή: Αστόχησε ψαθυρά λόγω διαγώνιου εφελκυσμού σε μικρές στάθμες επιβαλλόμενων μετακινήσεων ($n = 7$), εμφανίζοντας μεγάλου εύρους και εντάσεως ρηγμάτωση. Χαρακτηρίζεται δε από μικρές τιμές $\sqrt{n} \Sigma W_{pl}$ και δεικτών $\Sigma \mu_d$, μ_E (πρβλ. §8,7.2, 7.3, αντιστοίχως) - βλ. Σχ. 13.1 -.

Η δοκός CB-1B ($\alpha_s = 0.83$) συμπεριφέρθηκε πολύ καλύτερα.

Αστόχησε θλιπτοδιατμητικά στα άκρα για $n = 10$, εμφάνισε μικρή μείωση αποκρίσεως ΔV λόγω ανακυκλώσεων και μεγάλες τιμές των $\sqrt{n} \Sigma W_{pl}$, μ_E , $\Sigma \mu_d$.

Η φέρουσα ικανότητα των δοκών αυτών ήταν σχεδόν ίδια με τη θεωρητική αντοχή που είχε υπολογιστεί βάσει της κλασικής θεωρίας κάμψεως (πρβλ. § 3). Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα συμπεράσματα της βιβλιογραφίας όπου αναφέρεται ότι η φέρουσα ικανότητα που παρατηρείται στις κλασικώς οπλισμένες δ.σ. είναι περίπου ίση με 85% της θεωρητικής αντοχής (πρβλ. §1.4).

Πρέπει να σημειωθεί ακόμη ότι η παρουσία συνδετήρων εξασφάλισε στις δοκούς αυτές κάποια ελάχιστη στάθμη αποκρίσεως ίση με τη φέρουσα ικανότητα των συνδετήρων έως τον κύκλο $n = 7+$ ($\mu = 3$) - πρβλ. §11, Σχ. 11.5, 11.6 -.

13.1.2 Όπλιση με δισδιαγώνιους οπλισμούς (δοκοί CB-2)

Οι δοκοί αυτές συμπεριφέρθηκαν εμφανώς καλύτερα απ' τις άλλες, ιδιαιτέρως στην περίπτωση του μικρού λόγου διατμήσεως ($\alpha_s = 0.50$). Εμφάνισαν μεγάλη αντοχή ($V_{πειρ.} = 1,4-1,5 V_{θεωρ.}$), μικρού εύρους και εκτάσεως ρηγμάτωση, πολύ μικρή μείωση αποκρίσεως, μεγάλη ανάλωση ενέργειας ΣW_{pl} και μεγάλη ικανότητα παραμορφώσεως (πρβλ. §5,7,8).

Αστόχησαν θλιπτοδιατμητικά πάνω στα άκρα-τους, πιθανώς λόγω λυγισμού των διαγωνίων ράβδων στις θέσεις αυτές. Όμως, λόγω της καλής περισφίγξεως των διαγωνίων οπλισμών, η αστοχία λόγω λυγισμού δεν ήταν τόσο απότομη ούτε τόσο έντονη όσο σε άλλες δοκιμές που αναφέρονται στην βιβλιογραφία (πρβλ. §1.3.3).

13.1.3 Χιαστί οπλισμοί στα άκρα (δοκοί CB-3)

Ο τρόπος αυτός οπλίσεως, αν και δεν έχει εφαρμοστεί ευρέως για την όπλιση δοκών συζεύξεως, αποδείχτηκε πολύ ικανοποιητικός: Οι χιαστί ράβδοι στα άκρα απέτρεψαν την ψαθυρή διαγώνια εφελκυστική αστοχία (πρβλ. §4.3, 10.3) με αποτέλεσμα τα δοκίμια αυτά να συμπεριφερθούν αρκετά πλάστιμα: μικρής εκτάσεως ρηγμάτωση, μεγάλη ανάλωση ενέργειας ΣW_{pl} , μεγάλη ικανότητα παραμορφώσεως (n , μ_d), μικρή μείωση αποκρίσεως και

ακαμψίας. Η φέρουσα ικανότητα των δοκών ήταν: $1,3 V_{\theta\omega\rho}$.

Καί στα δύο δοκίμια η αποδιοργάνωση ξεκίνησε λόγω ελλιπούς μήκους αγκυρώσεως των χιαστί ράβδων (πρβλ. § 10.3, § 4.3). Αν οι ρωγμές αυτές είχαν αποφευχθεί, λ.χ. με την καλύτερη αγκύρωση των ράβδων, ενδέχεται η συμπεριφορά των δοκών αυτών να ήταν ακόμη καλύτερη.

Το υπάρχον ποσοστό συνδετήρων, εξασφάλισε μια ελάχιστη στάθμη αποκρίσεως ίση με τη φέρουσα ικανότητα των συνδετήρων, έως τον κύκλο $n = 7+$ (βλ. Σχ. 11.5, 11.6), όπως συνέβη και με τις κλασικώς οπλισμένες δοκούς.

13.1.4 Βλήτρα (δοκοί CB-4,5)

Η όπλιση δοκών συζεύξεως με βλήτρα δοκιμάστηκε για πρώτη φορά και είχε σα στόχο την αποφυγή της αστοχίας λόγω διατμητικής ολισθήσεως των άκρων (πρβλ. § 1.3.2). Πράγματι, τα βλήτρα απέτρεψαν εντελώς την εμφάνιση ρωγμών ολισθήσεως στις παρειές των δοκών. Κατά τους πρώτους κύκλους φορτίσεως ($n \leq 4$) οι δοκοί με βλήτρα συμπεριφέρθηκαν ικανοποιητικά. Αποδιοργανώθηκαν όμως γρήγορα στο κεντρικό-τους τμήμα λόγω διαγώνιου εφελκυσμού (πρβλ. § 4.4). Αυτό είχε ως επακόλουθα τη μεγάλη μείωση αποκρίσεως και ακαμψίας, μεγάλες διακυμάνσεις στην ανηγμένη απόσβεση ζ και μικρές συνολικές παραμορφώσεις.

Γενικώς οι δοκοί CB-4 στις οποίες τα βλήτρα εκτείνονταν σε όλο το μήκος-τους συμπεριφέρθηκαν μάλλον καλύτερα απ' τις δοκούς με βλήτρα μόνον στα άκρα-τους.

Πρέπει να επισημανθεί ότι, μετά την εκδήλωση διαγώνιας ρηγματώσεως ($n > 1$), οι διαμήκεις οπλισμοί όλων των δοκών εφελκύνονταν σε όλο το μήκος-τους, γεγονός που αναμενόταν κι από προηγούμενες έρευνες σε δοκούς συζεύξεως (πρβλ. § 1.2.2).

13.2 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ

Όπως αναμενόταν, οι δοκοί CB-A με τον μικρότερο λόγο διατμήσεως ($\alpha_s = 0.50$) συμπεριφέρθηκαν πολύ χειρότερα απ' τις δοκούς CB-B με $\alpha_s = 0.83$. Εμφάνισαν εντονότερη ρηγματώση, μικρότερη ικανότητα παραμορφώσεως - n , $\Sigma_{\mu d}$ - καθώς και μεγαλύτερη μείωση αποκρίσεως και ακαμψίας (πρβλ. Σχ. 13.1-5, §5,6,7).

Επίσης οι δύο κατηγορίες δοκών εμφάνισαν διαφορετική μορφολογία ρηγματώσεως (εκτός των δοκών με βλήτρα). Στις δοκούς CB-A παρουσιάστηκαν ρωγμές κατά τις κύριες διαγωνίους, ενώ στις δοκούς CB-B σημαντικότερες ήσαν οι χιαστί ρωγμές στα άκρα (πρβλ. 4). Η διαφορετική μορφολογία ρηγματώσεως υποδηλώνει ότι στον κάθε λόγο διατμήσεως ενεργοποιούνται (κατά κύριο λόγο) διαφορετικοί μηχανισμοί μεταφοράς τέμνουσας. Στις δοκούς με $\alpha_s = 0.50$ φαίνεται να ενεργοποιείται κυρίως ο μηχανισμός του διαγώνιου θλιπτήρα ενώ στις δοκούς με $\alpha_s = 0.83$ ο μηχανισμός δικτυώματος. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνει την παρατήρηση του Paulay [4] ότι στις δοκούς συζεύξεως υπάρχει σαφής ενεργοποίηση του διαγώνιου θλιπτήρα μόνον για λόγους διατμήσεως $\alpha_s \leq 0.75$.

Άλλωστε το γεγονός ότι η κλασικώς οπλισμένη δοκός CB-1B (με $\alpha_s = 0.83$) συμπεριφέρθηκε πολύ καλύτερα απ' την αντίστοιχη δοκό CB-1A ($\alpha_s = 0.50$), συγκριτικώς με τις υπόλοιπες δοκούς του ίδιου λόγου διατμήσεως (πρβλ. § 5,7,8) αποδόθηκε στην μεγαλύτερη ενεργοποίηση του μηχανισμού δικτυώματος στην πρώτη περίπτωση. Αυτό οδήγησε στην αυξημένη αποτελεσματικότητα του κλασικού τρόπου οπλίσεως για λόγο $\alpha_s = 0.83$ (σε σύγκριση με $\alpha_s = 0.50$).

13.3 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα συμπεράσματα των δοκιμών του Ε.Ω.Σ., καθώς και την εξέταση των στοιχείων της βιβλιογραφίας, εκτίθενται εδώ ορισμένες προτάσεις για την αποτελεσματικότερη όπλιση δοκών συζεύξεως με μικρό λόγο διατμήσεως ($\alpha_s \leq 1,00-1,50$).

Η όπλιση των δοκών συζεύξεως με δισδιαγώνιους οπλισμούς είναι η πιο ενδεδειγμένη διότι οδηγεί σε μεγάλη φέρουσα ικανότητα, περιορίζει το εύρος ρηγματώσεως, εξασφαλίζει δε μεγάλη πλαστιμότητα. Προτείνεται να ακολουθείται όπου αυτό είναι δυνατόν από κατασκευαστικής απόψεως.

Στο ΣΚΣ (πρβλ. §18.5.8) αναφέρεται ότι οι δοκοί συζεύξεως πρέπει να οπλίζονται με δισδιαγώνιους οπλισμούς εκτός αν ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\tau_d < 2 \frac{1}{h} \tau_{Rd} \quad (1)$$

$$\rho' = \rho < 0.25 \frac{1}{h} \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (2)$$

όπου l, h και ρ το πλάτος, το ύψος και το ποσοστό οπλισμού κάμψεως της δοκού συζεύξεως. Έχουν όμως διατυπωθεί αμφιβολίες [13] για τη σκοπιμότητα διατηρήσεως και των δύο ανωτέρω σχέσεων, διότι ουσιαστικά εκφράζουν την ίδια απαίτηση.

Για την αποφυγή πρόωρου λυγισμού των διαγωνίων ράβδων είναι απαραίτητη η πολύ καλή περισφιγξή-τους. Στο ΣΚΣ (18.5.8), προτείνεται να τοποθετούνται ορθογωνικοί συνδετήρες, άγκιστρα ή σπείρες, με αποστάσεις (ή βήματα) όχι μεγαλύτερα από 100 mm.

Η όπλιση με χιαστί οπλισμούς στα άκρα αποδείχθηκε η καλύτερη μετά τους δισδιαγώνιους οπλισμούς. Προτείνεται να χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου κατασκευαστικές δυσχέρειες αποκλείουν την όπλιση με δισδιαγώνιους οπλισμούς.

Θα πρέπει όμως να εξασφαλίζεται η επαρκής αγκύρωση των χιαστί ράβδων για να περιοριστούν οι χιαστί ρωγμές που παρατηρήθηκαν στα δοκίμια CB-3.

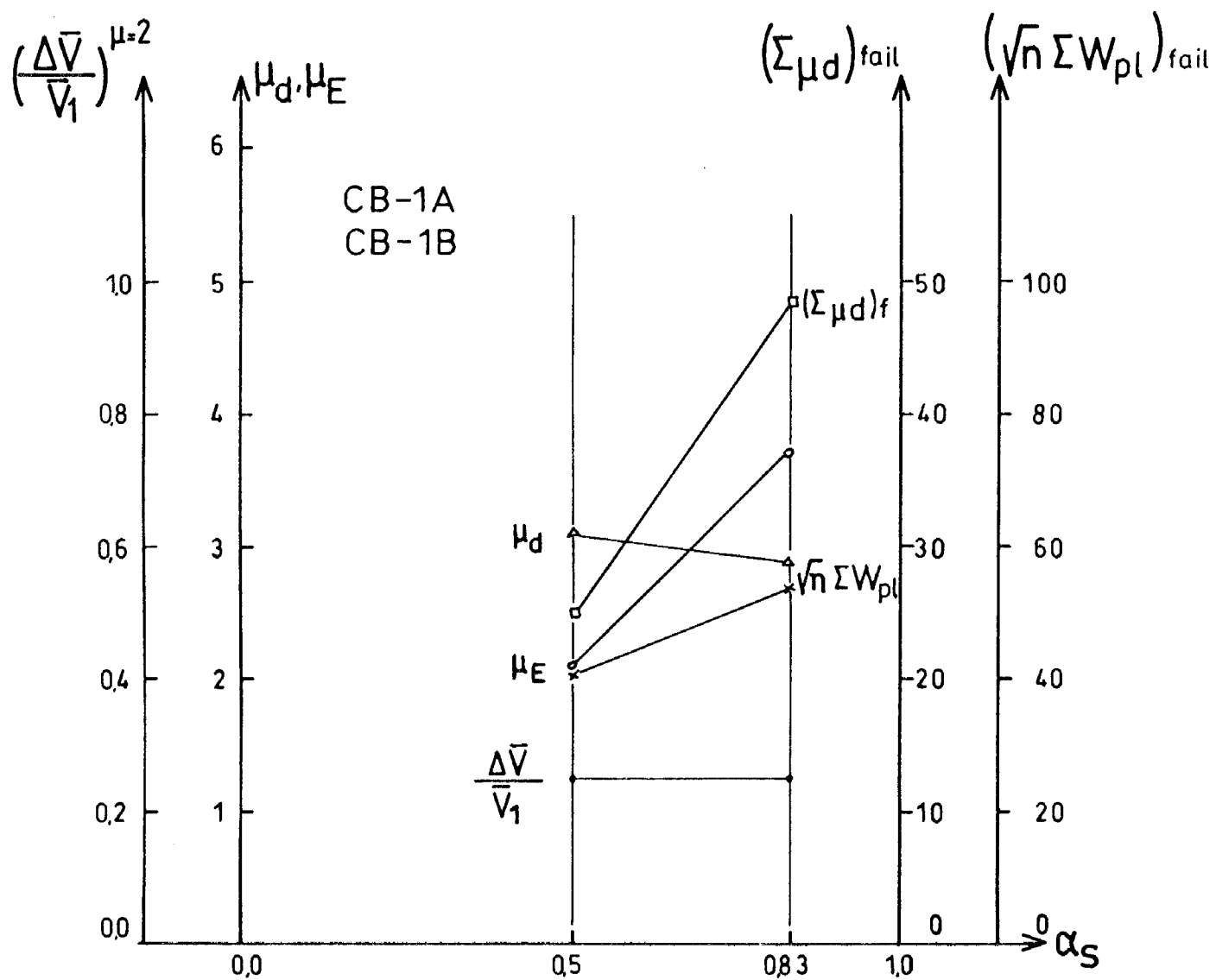
Οι ρωγμές αυτές θα μπορούσαν ενδεχομένως να περιοριστούν με την τοποθέτηση κοντών βλήτρων στα άκρα της δοκού (βλ. Σχ. 14.1), ή συνδετήρων εγκαρσίων στους χιαστί οπλισμούς.

Η κλασική όπλιση των δοκών συζεύξεως είναι καλό να αποφεύγεται, ιδίως για τιμές του λόγου διατμήσεως $\alpha_s < 0.75$, διότι οδηγεί σε διαγώνια εφελκυστική αστοχία της δοκού η οποία είναι πολύ ψαθυρή.

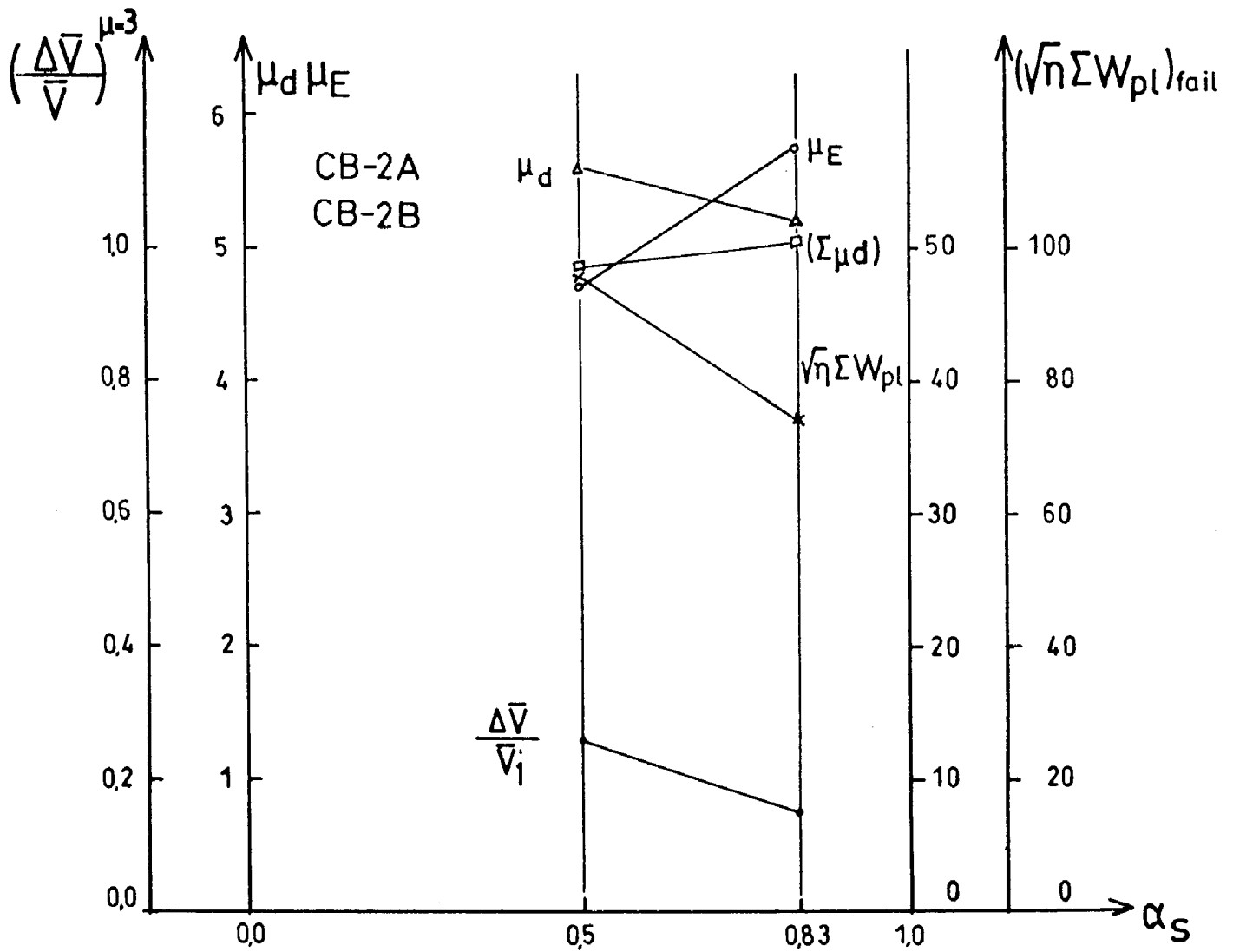
Στις δοκούς με $\alpha_s > 0.75$ οι οποίες οπλίζονται κλασικά (καταχρηστικώς), θα πρέπει να προβλέπεται η ανάληψη της υπολογιστικής τέμνουσας εξ ολοκλήρου απ'τους συνδετήρες. Τότε αποτρέπεται μεν η διαγώνια εφελκυστική αστοχία, θα πρέπει όμως να λαμβάνεται ειδική μέριμνα για την αποφυγή αστοχίας λόγω ολισθήσεως των ακραίων διατομών, η οποία είναι επίσης ψαθυρή (πρβλ. § 1.3.2).

Η όπλιση με βλήτρα δεν προτείνεται από μόνη-της σαν τρόπος οπλίσεως δοκών συζεύξεως.

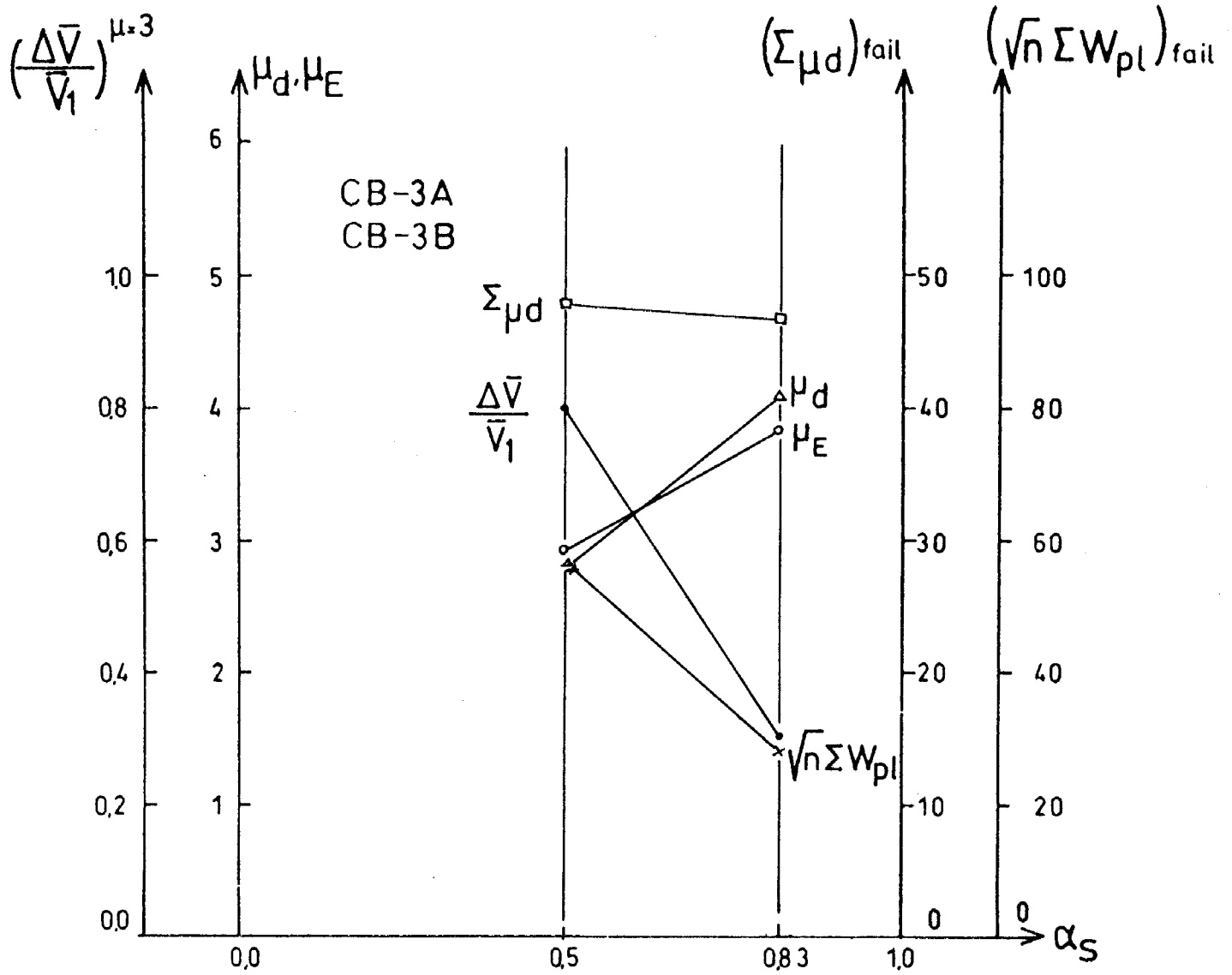
Πάντως κοντά βλήτρα, μικρής διαμέτρου, θα μπορούσαν ενδεχομένως να χρησιμοποιούνται για την αποφυγή αστοχίας λόγω διατμητικής ολισθήσεως (πρβλ. § 14: προτάσεις για μελλοντική έρευνα).



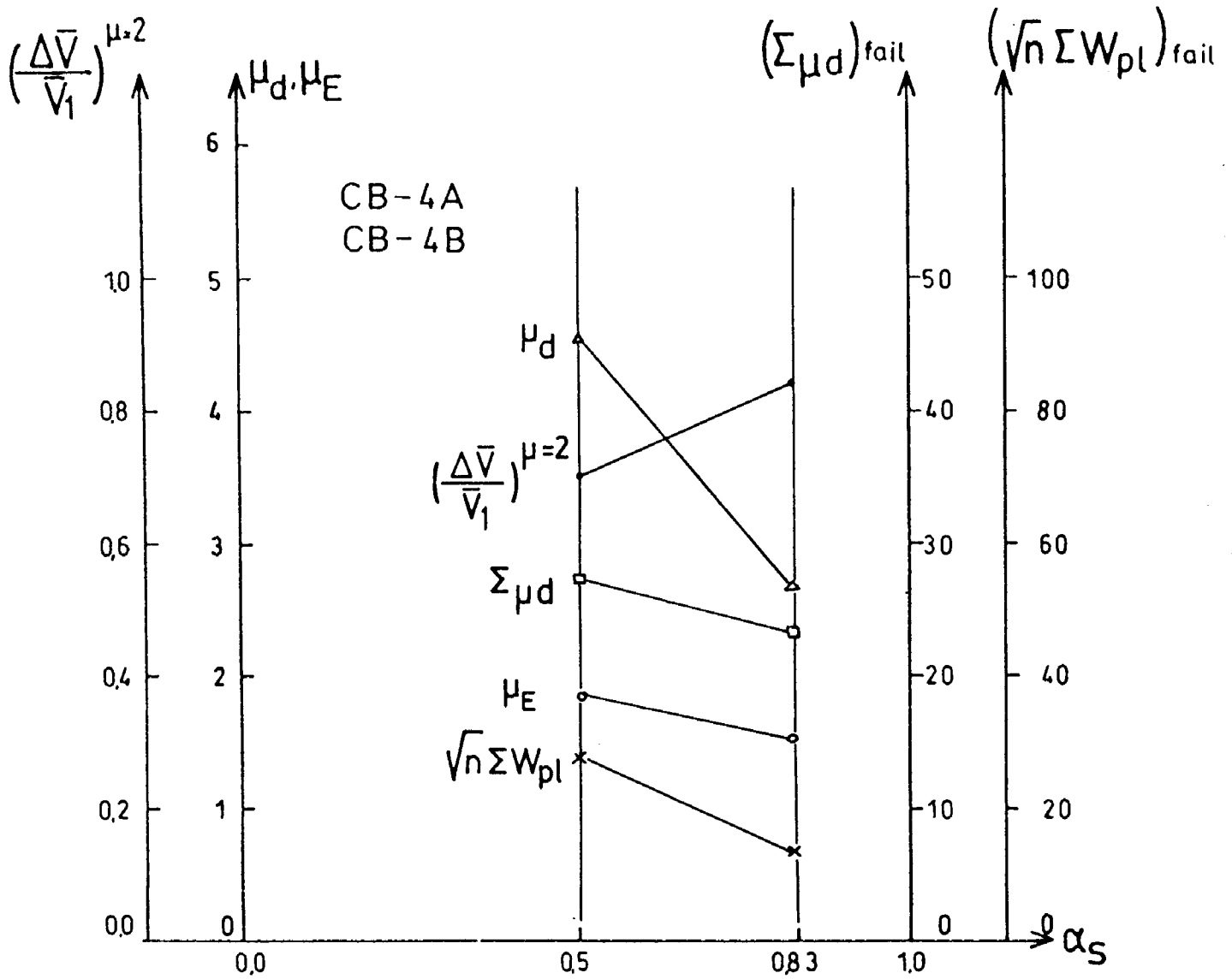
Σχ. 13.1: CB-1A,B. Μεταβολή των σημαντικότερων παραμέτρων συμπεριφοράς των δοκών, συναρτήσει του λόγου διατμήσεως.



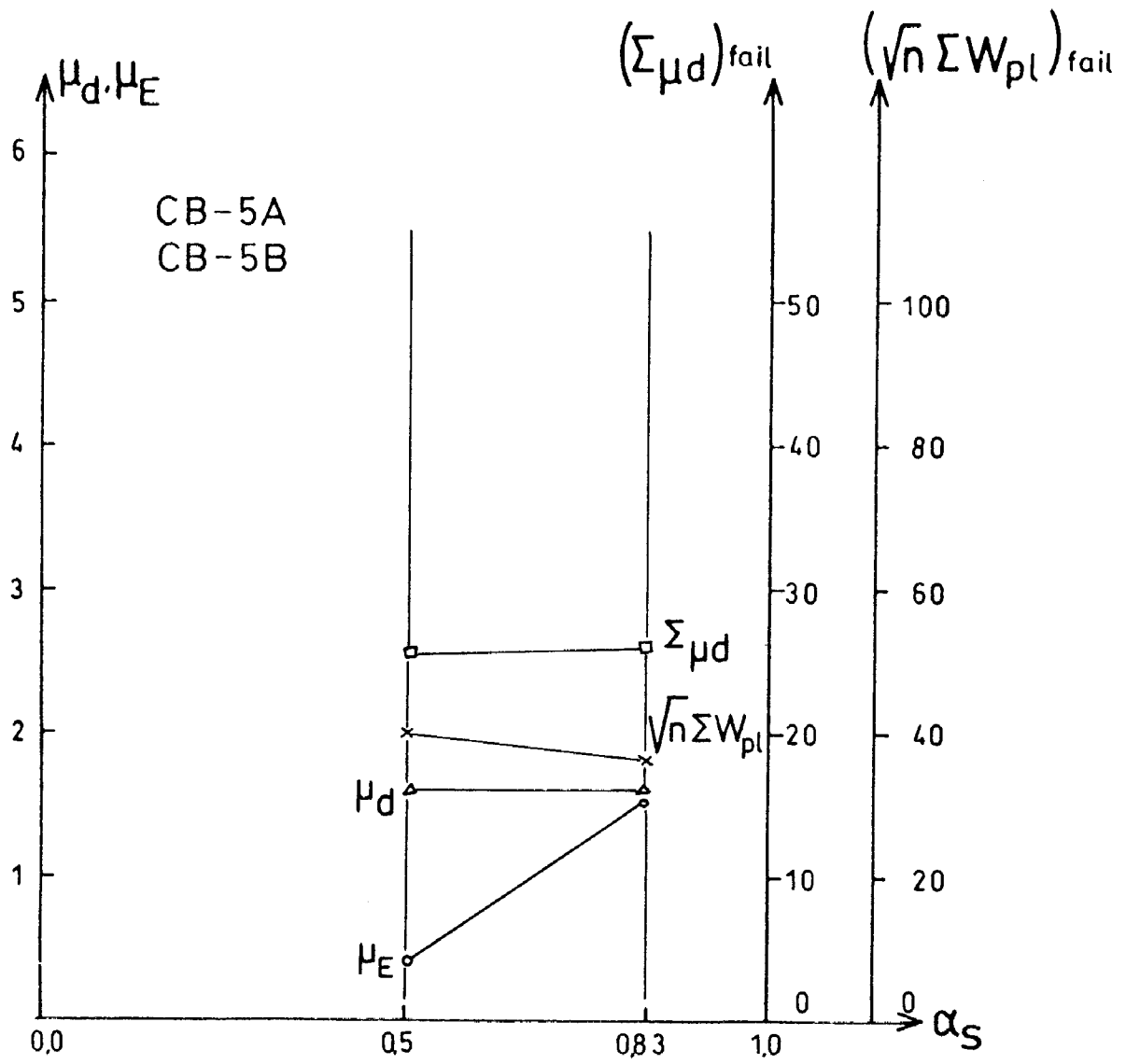
Σχ. 13.2: CB-2A,B. Μεταβολή των σημαντικότερων παραμέτρων συμπεριφοράς των δοκών, συναρτήσει του λόγου διατμήσεως.



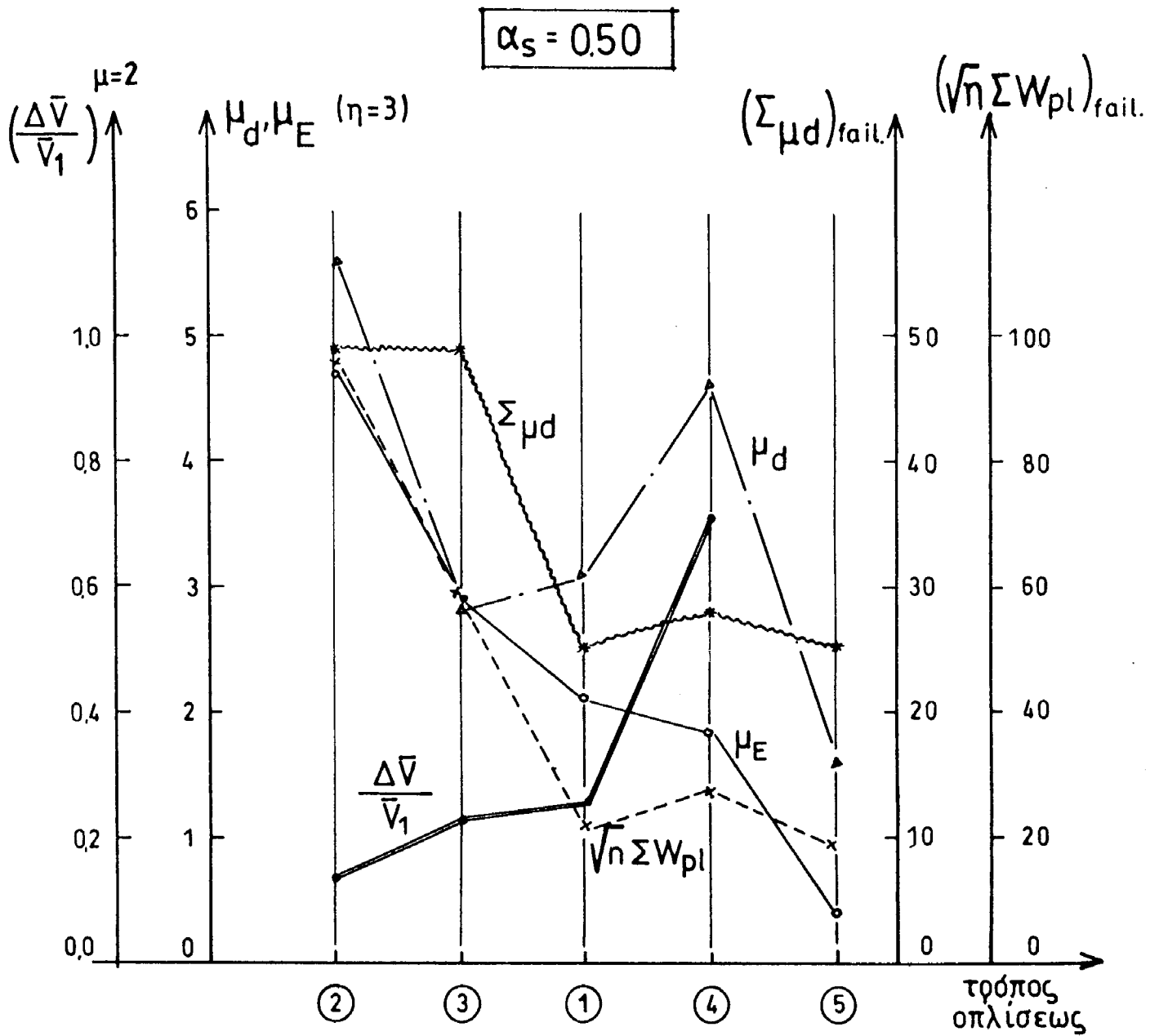
Σχ. 13.3: CB-3A,B. Μεταβολή των σημαντικότερων παραμέτρων συμπεριφοράς των δοκών, συναρτήσει του λόγου διατμήσεως.



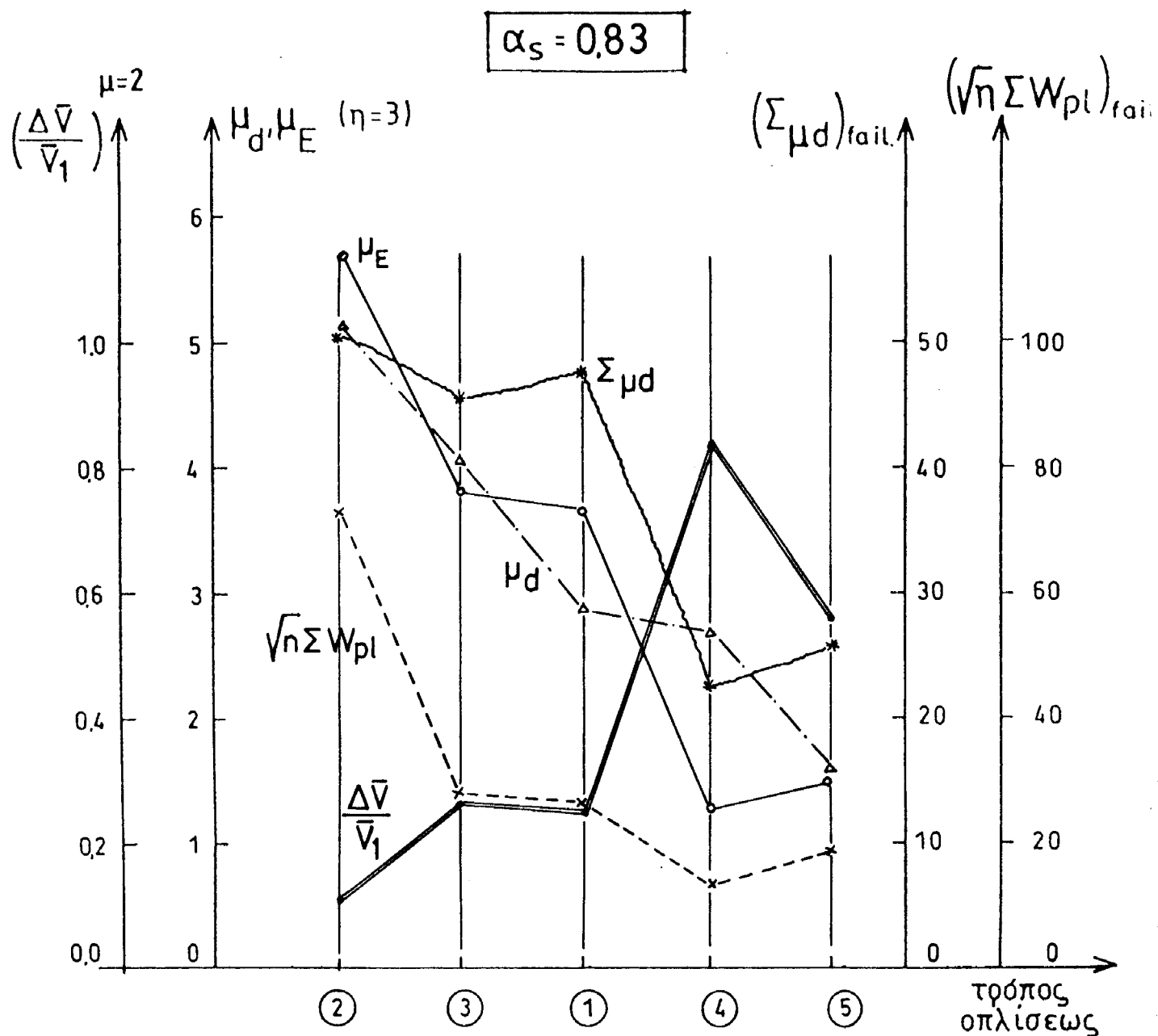
Σχ. 13.4: CB-4A,B. Μεταβολή των σημαντικότερων παραμέτρων συμπεριφοράς των δοκών, συναρτήσει του λόγου διατμήσεως.



Σχ. 13.5: CB-5A,B. Μεταβολή των σημαντικότερων παραμέτρων συμπεριφοράς των δοκών, συναρτήσει του λόγου διατομής.



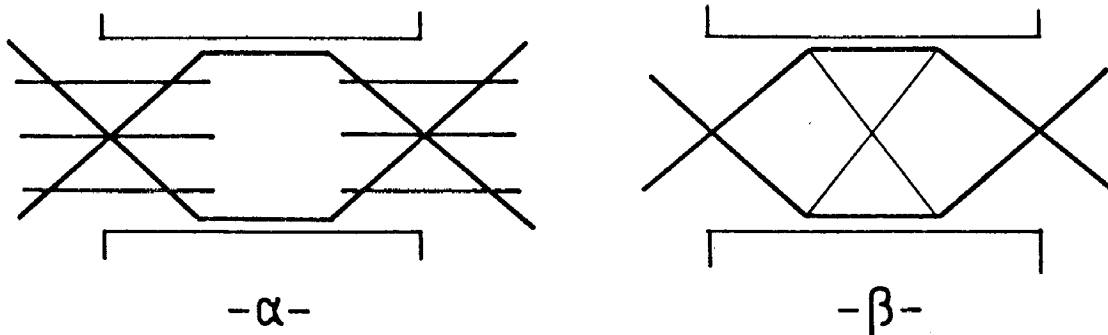
Σχ. 13.6: Μεταβολή των σημαντικότερων παραμέτρων συμπεριφοράς των δοκών, συναρτήσει του τρόπου οπλίσσεως ($\alpha_s=0.50$).



Σχ. 13.7: Μεταβολή των σημαντικότερων παραμέτρων συμπεριφοράς των δοκών, συναρτήσει του τρόπου οπλίσσεως ($\alpha_s=0.83$).

14. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- Προτείνεται η εκτενέστερη μελέτη της συμπεριφοράς δοκών συζεύξεως με χιαστί οπλισμούς στα άκρα, όπως: Βελτίωση της αγκυρώσεως των χιαστί ράβδων, τοποθέτηση βλήτρων μικρών διαμέτρων στα άκρα της δοκού ή συνδετήρων εγκάρσιως στις χιαστί ράβδους (βλ. Σχ. 14.1), καθώς και εξέταση της επιρροής της διαμέτρου των χιαστί ράβδων στη συνολική συμπεριφορά των δοκών.



Σχ. 14.1 : Εναλλακτικοί τρόποι οπλίσεως δοκών συζεύξεως για την αποφυγή των χιαστί ρωγμών κατά μήκος των ράβδων οπλισμού.

α. Τοποθέτηση βλήτρων στα άκρα της δοκού.

β. Τοποθέτηση εγκάρσιων συνδετήρων.

- Προτείνεται ακόμη η κατασκευή και η δοκιμή κλασικών οπλισμένων δοκών συζεύξεως, σχεδιασμένων ώστε η τέμνουσα υπολογισμού να αναλαμβάνεται εξ ολοκλήρου απ' τους συνδετήρες, με την προσθήκη κοντών βλήτρων, μικρών διαμέτρων, στα άκρα. Στο μέσον των δοκών αυτών θα πρέπει να γίνεται πύκνωση συνδετήρων, ώστε να περιοριστεί και, ει δυνατόν, να αποτραπεί η διαγώνια αστοχία που παρατηρήθηκε στα δοκίμια CB-4 της παρούσας έρευνας.

Θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί περισσότερο το κατά πόσον η λύση των βλήτρων στα άκρα δοκών συζεύξεως μπορεί να βελτιώσει τη συμπεριφορά-τους (λ.χ. αποφυγή αστοχίας λόγω ολισθήσεως) ή η παρουσία των βλήτρων οδηγεί, τελικώς, σε χειρότερη συμπεριφορά.

- Μελλοντικά θα είναι σκόπιμο επίσης να γίνει μια λεπτομερέστερη μελέτη των μηχανισμών μεταφοράς δυνάμεων στις δοκούς

συζεύξεως (όπως: κλίση διαγώνιου θλιπτήρα, ενεργοποίηση μηχανισμού δικτυώματος σε συνάρτηση με τον λόγο διατμήσεως και τα εντατικά μεγέθη). Μια παρόμοια μελέτη θα βοηθήσει στην κατανόηση της συμπεριφοράς των δοκών συζεύξεως (λ.χ. εξήγηση της διαφοράς συμβατικού και πραγματικού φορτίου των δοκιμών της έρευνας - πρβλ. § 3) και θα οδηγήσει στην αποτελεσματικότερη όπλισή-τους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

1. PAULAY T.: "Coupling beams of reinforced concrete shear walls", Journal of Structural Division ASCE, Vol. 97, No ST3, pp. 843-861, March 1971.
2. PAULAY T.: "Simulated seismic loading of spandrel beams", Journal of the Structural Division ASCE, Vol. 97, No ST9, pp. 2407-2419, Sept. 1971.
3. PAULAY T.: "The Coupling of Reinforced Concrete Shear Walls", Proceedings, 4WCEE Santiago, Chile, 1969 B-2, pp. 75-90.
4. PAULAY T., BINNEY J.R.: "Diagonally reinforced coupling beams of shear walls", Shear in Reinforced Concrete, ACI Vol. 2, SP-42, USA, 1974, pp. 579-598.
5. YU G.R., WANG W.H., YAO C.D., NI V., LIU J.C.: "Design of sintered fly ash aggregate concrete coupling beams subjected to reversed cyclic loadings", International Symposium of Fundamental Theory of Reinforced and Pre-stressed Concrete, Sept. 1986, NIT, Nanjing, China, pp. 727-734.
6. CHONGGHANG W., ZONGZHE W., PING C., ZHIREN D.: "The ductility of reinforced concrete shear walls", International Symposium of Fundamental Theory of Reinforced and Pre-stressed Concrete, Sept. 1986, NIT, Nanjing, China, pp. 751-758.
7. PAULAY T.: "An elastoplastic analysis of coupled shear walls", Proceedings ACI Journal, V.67, No. 11, Nov. 1970, pp. 915-922.
8. GLÜCK J.: "Elastoplastic analysis of coupled shear walls", Journal of the Structural Division ASCE, Vol. 99, No. ST8, Aug. 1973, pp. 1743-1760.
9. PAULAY T., SANTHAKUMAR A.R.: "Ductile behaviour of coupled shear walls", Journal of the Structural Division ASCE, Vol. 102, No. ST1, Jan. 1976, pp. 93-108.

10. SANTHAKUMAR A.R.: "Ductile behaviour of coupled shear walls subjected to reversed cyclic loading", Proceedings International Symposium on Earthquake Structural Engineering, St. Louis, Aug. 1976, pp. 501-512.
11. ARISTIZABAL-OCHOA J.P., SHIU K.N., CORLEY W.G.: "Effects of beam strength and stiffness on coupled wall behaviour", Proceedings of the 2nd U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Stanford University, Stanford, California, Aug. 1979, pp. 323-332.
12. MARUYAMA K., SUGITA A., SHIMIZU K.: "Some considerations on ductility of R.C. members", Trans. of JCI, Vol. 11, 1989, pp. 293-300.
13. ΠΕΝΕΛΗΣ Γ.: "Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα", Εκδ. Ζήτη, 1990, σελ. 329, 330.

ΕΡΕΥΝΑ ΕΜΠ/ΟΑΣΠ

"ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ
ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕΝΗ
ΕΝΤΑΣΗ"

Π Α Λ Ι Α Ε Κ Θ Ε Σ Η Π Ρ Ο Ο Δ Ο Υ

Θ.Π. Τάσιος - Α.Ε. Μπέζας

Ιούνιος 1988

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.- ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.- ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΩΝ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

2.1.- ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

2.2.- ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΚΩΝ ΣΥΖΕΥΞΕΩΣ

3.- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΕΜΠ/ΟΑΣΠ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ

3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ - ΜΕΛΕΤΩΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

3.2.1. Μορφή δοκιμίων

3.2.2. Μελετώμενες παράμετροι

3.2.3. Διάταξη των οπλισμών

3.2.4. Σκυροδέτηση δοκιμίων

3.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΣ

3.3.1. Τρόπος φορτίσεως των δοκιμίων

3.3.2. Περιγραφή πειραματικής διατάξεως

3.3.3. Ιστορία φορτίσεως των δοκιμίων

4.- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

4.1. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

4.2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

4.3. ΚΛΑΣΙΚΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗ ΔΟΚΟΣ

4.3.1. Υπολογισμός ροπής αστοχίας

4.3.2. Υπολογισμός τέμνουσας αστοχίας

4.4. ΔΟΚΟΣ ΜΕ ΔΙΣΔΙΑΓΩΝΙΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ

4.4.1. Σχόλια

4.4.2. Υπολογισμός ροπής αστοχίας

4.4.3. Υπολογισμός τέμνουσας αστοχίας

4.4.4. Κατασκευαστικοί οπλισμοί

4.5. ΔΟΚΟΣ ΜΕ ΧΙΑΣΤΙ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΣΤΙΣ ΠΑΚΤΩΣΕΙΣ

4.5.1. Σχόλια - κατασκευαστικές λεπτομέρειες

4.5.2. Υπολογισμός ροπής αστοχίας

4.5.3. Υπολογισμός της τέμνουσας αστοχίας

4.6. ΔΟΚΟΣ ΜΕ "ΒΛΗΤΡΑ-ΣΦΙΓΚΤΗΡΕΣ" ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ

4.6.1. Σχόλια

4.6.2. Υπολογισμός ροπής αστοχίας

4.6.3. Υπολογισμός τέμνουσας αστοχίας

4.6.4. Δράση σφιγκτήρα

4.6.5. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

4.7. ΔΟΚΟΣ ΜΕ ΚΟΝΤΑ ΒΛΗΤΡΑ ΣΤΙΣ ΠΑΚΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ

4.7.1. Σχόλια

1.- ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γενικά παραδεκτό ότι τα συζευγμένα τοιχώματα (Σχ. 1.1) αποτελούν (ιδιαίτερα στα ψηλά κτίρια), έναν πολύ καλό φορέα οριζόντιων δυνάμεων απο σεισμό ή άνεμο, αφού εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ακαμψία και αντοχή.

Ενας σημαντικός αριθμός θεωρητικών προσομοιωμάτων έχει δημοσιευθεί σχετικά με την ελαστική ανάλυση κατασκευών αυτού του είδους. Αντιθέτως, σχετικώς λίγα είναι ακόμη γνωστά για την φυσική συμπεριφορά τους στην περίπτωση σεισμικών δονήσεων.

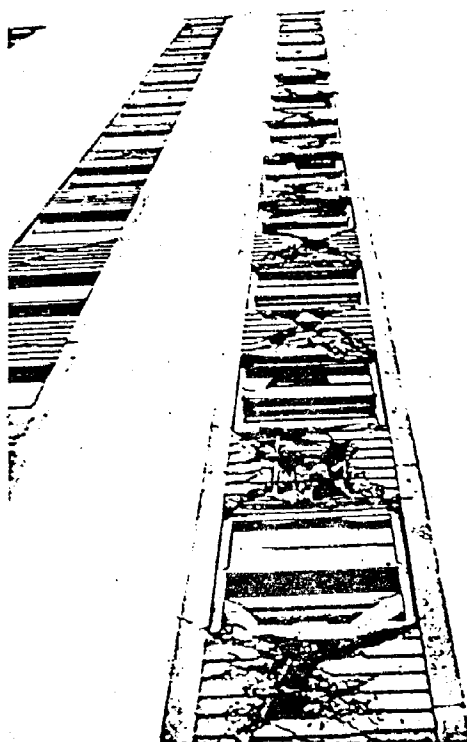
Παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι τρεις είναι οι κρίσιμες περιοχές σε συζευγμένα τοιχώματα απο Ω.Σ., στις οποίες και εντοπίζονται αστοχίες μετά απο ισχυρούς σεισμούς: 1) η βάση κάθε τοιχώματος, 2) οι αρμοί διακοπής εργασίας και 3) οι δοκοί συνδέσεως.

Θεωρητικές αναλύσεις αλλά και αποτελέσματα πειραμάτων αποδεικνύουν ότι η κατασκευή πλάστιμων δοκών βελτιώνει την συμπεριφορά των συζευγμένων τοιχωμάτων δίνοντας τους την δυνατότητα να καταναλώσουν σημαντικό ποσοστό της συνολικής σεισμικής ενέργειας.

Στα Σχ. 1.2 και 1.3 απεικονίζονται χαρακτηριστικές (και αποκαλυπτικές ταυτόχρονα) βλάβες δοκών συνδέσεως συζευγμένων τοιχωμάτων των 14 ορόφων κτιρίων Mt. McKinley και 1200 L Apartment Building στην Anchorage της Alaska, μετά τον σεισμό που έγινε εκεί τον Μάρτιο του 1964. Είναι προφανές ότι πρόκειται γ.α εξαιρετικώς ευάλωτα δομικά στοιχεία.

Χαρακτηριστικό των δοκών αυτού του είδους είναι ότι παρουσιάζουν μικρό λόγο μήκους προς ύψος. Στην πραγματικότητα πρόκειται για αμφίπακτες δοκούς με κινητά και στρεπτά άκρα. Η επιβαλλόμενη απο τα τοιχώματα ένταση, σε περίπτωση σεισμού, αντιστοιχεί σε τέμνουσα δύναμη και ροπή στα δύο άκρα - σημεία πακτώσεώς τους. Η αντιμετώπιση τους σαν απλών αμφίπακτων δοκών δεν θα έδινε όμως την πραγματική εικόνα της συμπεριφοράς τους.

Δημιουργείται έτσι η ανάγκη να μελετήσουμε ιδιαιτέρως το είδος αυτό των δοκών. Το ερευνητικό πρόγραμμα του ΟΑΣΠ που εκτελείται στο εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ, σκοπό έχει να εξετάσει υπο συνθήκες επιβαλλόμενων ανακυκλιζόμενων παραμορφώσεων την συμπεριφορά των δοκών συνδέσεως

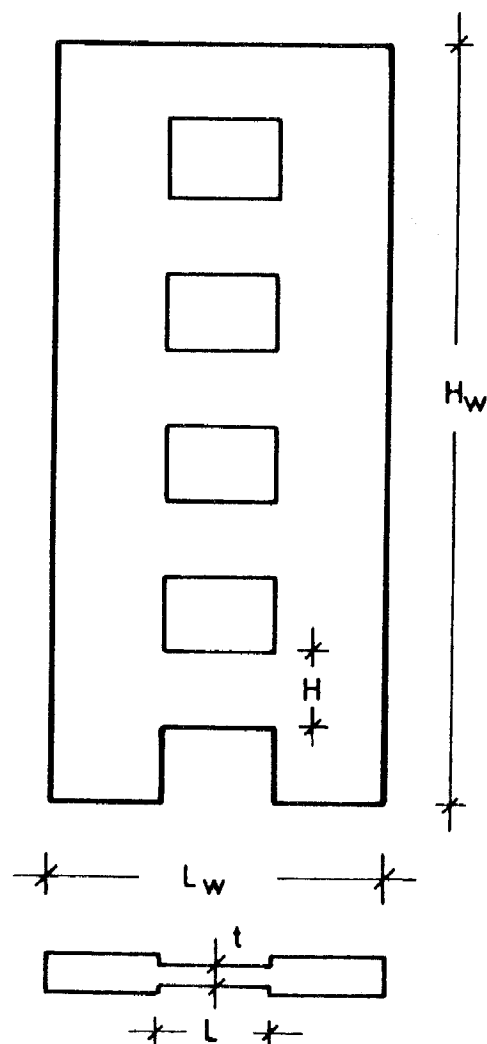


Σχ. 1.2: Αστοχίες δοκών συνδέσεως τοιχωμάτων στο κτίριο 1200 L Apartment Building (Alaska, 1964)



Σχ. 1.3: Καταστροφές δοκών συνδέσεως στο κτίριο Mt McKinley (Alaska, 1964)

συζευγμένων τοιχωμάτων. Απο τις μετρήσεις και τα πορίσματα των πειραμάτων αναμένεται ότι θα υπάρξει βελτίωση στην αντισεισμική διαστασιολόγηση αυτών των τόσο χρήσιμων για τις σύγχρονες κατασκευές δομικών στοιχείων. Επιπλέον, οι εναλλακτικοί τρόποι οπλίσεως που μελετούνται σ' αυτήν εδώ την έρευνα, θα επιτρέψουν και την εντόπιση και επίλυση πρακτικών κατασκευαστικών προβλημάτων.



Σχ. 1.1: Συζευγμένο τοίχωμα

2.- ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΩΝ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Τα τελευταία 30 περίπου χρόνια, πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τη μελέτη των συζευγμένων τοιχωμάτων. Ένα μεγάλο πλήθος απο τις σχετικές εργασίες, ασχολείται με τον υπολογισμό εντατικών και παραμορφωσιακών μεγεθών στις δοκούς συνδέσεως και τα συζευγμένα τοιχώματα, με χρήση ελαστικής ή ελαστοπλαστικής αναλύσεως. Μια άλλη κατηγορία εργασιών εξετάζει την επιρροή της αντοχής και της ακαμψίας των δοκών συνδέσεως στην συμπεριφορά του όλου συστήματος.

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα, το πλήθος των ερευνητικών προγραμμάτων που ασχολούνται αποκλειστικά με την μελέτη της συμπεριφοράς των δοκών συνδέσεως, είναι σχετικά μικρό. Τα περισσότερα απο αυτά, έχουν εκτελεσθεί στο Πανεπιστήμιο του Canterbury στις αρχές της δεκαετίας του 70 απο τον Paulay, η προσφορά του οποίου στην μελέτη των συζευγμένων τοιχωμάτων πρέπει να αναγνωρισθεί ως σημαντικότερη.

Πρόσφατα (1986), Κινέζοι ερευνητές παρουσίασαν σειρά νέων πειραματικών αποτελεσμάτων, στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων που σκοπό έχουν να προτείνουν εναλλακτικούς τρόπους οπλίσεως των δοκών συνδέσεως, με στόχο την βελτίωση της υστερητικής τους συμπεριφοράς (αύξηση της πλαστιμότητας).

Τα πειραματικά αυτά δεδομένα δίνουν νέα ώθηση στο θέμα της αντισεισμικής διαστασιολογήσεως των δοκών συνδέσεως, ταυτόχρονα δε, δημιουργούν νέα κίνητρα για περαιτέρω έρευνα.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι όλα τα πειραματικά ερευνητικά προγράμματα που αναφέρονται στην βιβλιογραφία, αφορούν ανακυκλιζόμενο επιβαλλόμενο φορτίο και όχι επιβαλλόμενες ανακυκλιζόμενες παραμορφώσεις, όπως στην πραγματικότητα συμβαίνει κατά την διάρκεια ενός σεισμού. Η δε διαφορά είναι πολύ σημαντική.

Στον κατάλογο εργασιών που ακολουθεί, οι εργασίες έχουν ταξινομηθεί σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη παρουσιάζονται θεωρητικές και πειραματικές εργασίες αναλύσεως συστημάτων συζευγμένων τοιχωμάτων, ενώ στην δεύτερη απογράφονται πειραματικές εργασίες, στις οποίες εξετάζεται αποκλειστικά η συμπεριφορά των δοκών συνδέσεως υπο μονοτονική ή ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Και στις δύο κατηγορίες η παρουσίαση γίνεται κατά χρονολογική σειρά.

2.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

1. CHITTY L.: "On the cantilever composed of a number of parallel beams interconnected by crossbars", Philosophical Magazine (London) V.38, Series 7, 1947, pp. 685-699.
2. ROSMAN R.: "Beitrag zur statischen berechnung waagrecht belasteter querwande bei hochbauten", Der Bauingenieur, Vol. 4, Apr. 1960.
3. BECK R.: "Contribution to the analysis of coupled shear walls", ACI Journal, Proceedings V.59, Aug. 1962, pp.1055-1070.
4. ROSMAN R.: "Approximate analysis of shear walls subject to lateral loads", ACI Journal Proceedings, V.61, No 6, June 1964, pp. 717-733.
5. BURNS R.J.: "An approximate method of analysis coupled shear walls subject to triangular loading", Proceedings Third World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, 1965.
6. COULL A., CHOUDHURY J.R.: "Stresses and deflections in coupled shear walls", Proceedings ACI Journal, V.64, No 2, Feb. 1967, pp. 65-72.
7. COULL A., CHOUDHURY J.R.: "Analysis of coupled shear walls", Proceedings ACI Journal, V.64, No 9, Sept. 1967, pp.587-593.
8. COULL A., STAFFOR D., SMITH B.: "Analysis of shear wall structures (A Review of previous research)", Tall Buildings, Pergamon Press Limited, London, 1967, pp. 139-155.
9. MACLEOD I.A.: "Lateral stiffness of shear walls with openings", Tall Buildings Pergamon Press Limited, London 1967, pp. 223-252.
10. PAULAY T.: Discussion of "Analysis of Coupled Shear Walls" by A. Coull and J.R. Choudhury, ACI Journal, Proceedings V. 65, No 3, March 1968, pp. 237-239.
11. WINOKUR A., CLUCK J.: "Ultimate strength analysis of coupled shear walls", ACI Journal, American Concrete Institute, Proceedings, Vol.65, No 12, Dec. 1968, pp.1029-1036.

12. COUL A., IRWIN A.W.: "Design of connecting beams in coupled shear wall structures", Proceedings ACI Journal, V. 66, March 1969, pp. 205-209.
13. PAULAY T.: "The coupling of reinforced concrete shear walls", Proceedings 4 W.C.E.E., Santiago, Chile, B-2, pp. 75-90, 1969.
14. PAULAY T.: "An elastoplastic analysis of coupled shear walls", Proceedings ACI Journal, V.67, No 11, Nov. 1970, pp. 915-922.
15. PAULAY T.: "An approach to the design of coupled shear walls", Proceedings 3rd Australasian Conference of the Mechanics of Structures and Materials, Auckland, New Zealand, VI, Session A3, Aug. 1971, p. 19.
16. PAULAY T.: "Some seismic aspects of coupled shear walls", Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering No 5, pp. 89-105, Sept. 1972.
17. TSO W.K., CHAN P.C.K.: "Flexible foundation effect on coupled shear walls", ACI Journal Proceedings, Vol. 69, No 11, Nov. 1972, pp. 678-683.
18. SANTHAKUMAR A.R.: "Ductility of coupled shear walls", Research Report 74-10 University of Canterbury, Department of Civil Engineering, N. Zealand, Oct. 1974, pp. 385.
19. SANTHAKUMAR A.R.: "The ductility of coupled shear walls", Ph.D. Thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, Oct. 1974, 412 pp.
20. SANTHAKUMAR A.R.: "Ductility behaviour of coupled shear walls subjected to reverse cyclic loading", Proc. International Symposium on Earthquake Structural Engineering, St. Luis, Aug. 1976, pp. 501-512.
21. PAULAY T., SANTHAKUMAR A.R.: "Ductile behaviour of coupled shear walls", Journal of the Structural Division ASCE, Vol. 102, No. ST1, pp. 93-108, Jan. 1976.
22. MAHIN S., BERTERO V.V.: "Nonlinear seismic response of a coupled wall system", Journal of structural Division ASCE, V. 102, No ST9, Sept. 1976, pp. 1759-1780.

23. ARISTIZABAL-OCHOA J.P., SOZEN M.A.: "Behaviour of ten-story reinforced concrete walls subjected to earthquake motions", Civil Engineering studies, SRS No 431, University of Illinois, Urbana-Champaign, October 1976.
24. LYBAS J.M., SOZEN M.A.: "Effect of beam strength and stiffness on dynamic behaviour of reinforced concrete coupled walls", Civil Engineering Studies, SRS No 444, University of Illinois, Urbana-Champaign, July 1977.
25. ARISTIZABAL-OCHOA J.P., SHIU K.N., CORLEY W.G.: "Effects of beam strength and stiffness on coupled wall behaviour", Proceedings of the 2nd U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Stanford University, Stanford, California, Aug. 1979, pp. 323-332.
26. AKTAN A.E., BERTERO V.V.: "The seismic resistant design of R/C coupled structural walls", Report No UCB/EERC 81/07, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, June 1981.
27. KEINTZEL E.: "Ductility requirements for shear wall structures in seismic areas", Proc. 8 W.C.E.E., San Francisco, Calif. USA, 1984, V. IV, pp. 671-677.

2.2. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΚΩΝ ΕΥΖΕΥΞΕΩΣ

1. PAULAY T.: "Coupling beams of reinforced concrete shear walls", Journal of Structural Division ASCE, Vol. 97, No ST3, pp. 843-861, March 1971.
2. PAULAY T.: "Simulated seismic loading of spandrel beams", Journal of the Structural Division ASCE, Vol. 97, No ST9, pp 2407-2419, Sept. 1971.
3. BINNEY J.R.: "Diagonally reinforced coupling beams", M. E. Report, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, p. 138, 1972.
4. PAULAY T., BINNEY J.R.: "Diagonally reinforced coupling beams of shear walls", Shear in Reinforced Concrete, ACI Vol. 2, SP-42, USA, 1974.

5. PAULAY T., BINNEY J.R.: "Diagonally reinforced coupling beams", Publication SP-42, ACI, Detroit Mich., 1974, pp. 579-598.
6. BARNEY G.B. et al.: "Earthquake resistant structural walls tests of coupling beams", Report to National Science Foundation, Portland Cement Association, January 1978.
7. YU G.R., WANG W.H., YAO C.D., NI V., LIU J.C.: "Design of sintered fly ash aggregate concrete coupling beams subjected to reversed cyclic loadings", International Symposium of Fundamental Theory of Reinforced and Prestressed Concrete, Sept. 1986, NIT, Nanjing, China.
8. CHONGGHANG W., ZONGZHE W., PING C., ZHIREN D.: "The ductility of reinforced concrete shear walls", International Symposium of Fundamental Theory of Reinforced and Prestressed Concrete, Sept. 1986, NIT, Nanjing, China.
9. QING-RONG YU, WEI-HEN WANG, CHONG-DE YAO, YU NI, JIN-CHUN LIU: "Behaviour of sintered fly ash aggregate concrete coupling beams under reversed cyclic loading", to be published.

3.- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΕΜΠ/ΟΛΣΠ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η μελέτη των εργασιών που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, επιτρέπει να διαπιστώσουμε το σημείο στο οποίο βρίσκεται σήμερα η γνώση όσον αφορά τις δοκούς σύνδεσεως των συζευγμένων τοιχωμάτων. Δίνει επιπλέον την δυνατότητα να εντοπισθούν τομείς, τους οποίους η μέχρι τώρα έρευνα ή δεν καλύπτει καθόλου ή καλύπτει μερικώς, γεγονός που επιτρέπει έναν τέτοιο σχεδιασμό του πειραματικού μας προγράμματος, ώστε να γίνει δυνατή η βελτίωση της διατιθέμενης σήμερα γνώσεως. Είναι πάντως προφανές ότι το σύνολο των θεμάτων τα οποία δεν καλύπτονται πλήρως ή καλύπτονται ελλειπώς από τα πειραματικά ερευνητικά προγράμματα τα οποία μέχρι τώρα έχουν εκτελεσθεί, δεν είναι δυνατόν να μελετηθούν στα πλαίσια ενός και μόνου προγράμματος σαν αυτό εδώ.

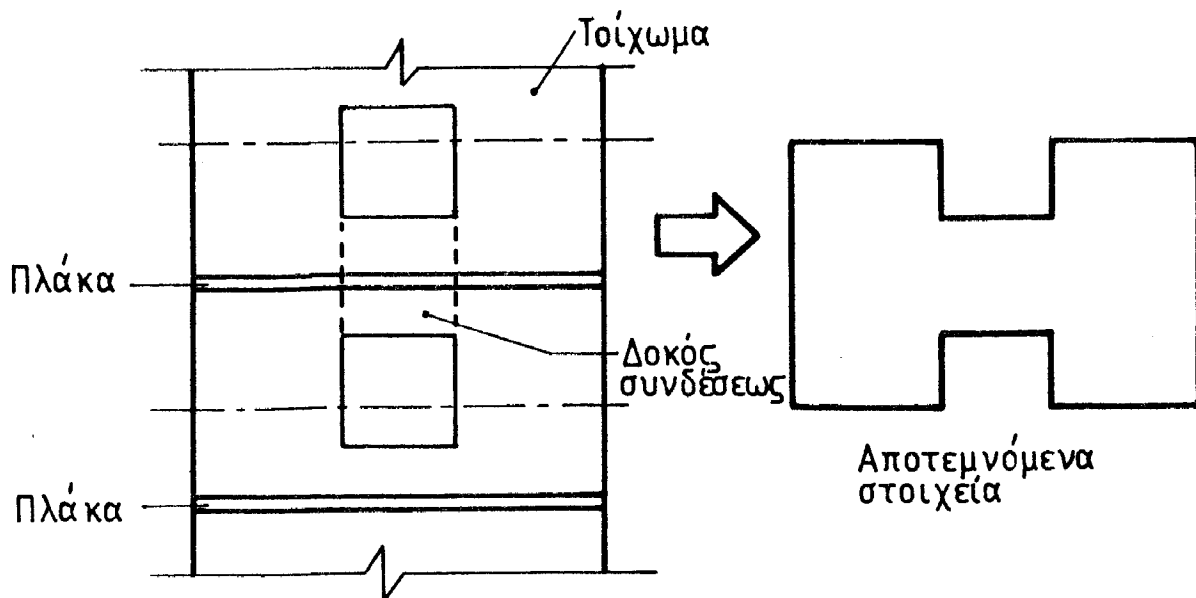
Για να αποκτηθεί εμπειρία στην εκτέλεση των πειραμάτων, αλλά και για να διαπιστωθούν τυχόν προβλήματα στην λειτουργία της πειραματικής συσκευής φορτίσεως που σχεδιάστηκε, κρίθηκε αναγκαίο να μην προχωρήσουμε απ' ευθείας στα τελικά πειράματα, αλλά να ξεκινήσουμε με εκτέλεση "προπειράματος". Με την κατασκευή του δοκιμαστικού ομοιώματος κατορθώσαμε έτσι να ελέγξουμε και να βελτιώσουμε την πειραματική μας διάταξη. Η εκτέλεση και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων του προπειράματος οδήγησε γενικότερα σε έναν ορθότερο σχεδιασμό του προγράμματος σε σχέση με τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν, περιγράφονται η διαδικασία του πειραματικού μέρους του ερευνητικού προγράμματος καθώς και τα στάδια που μέχρι τώρα έχουν πραγματοποιηθεί.

3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ - ΜΕΛΕΤΩΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

3.2.1. Μορφή δοκιμίων

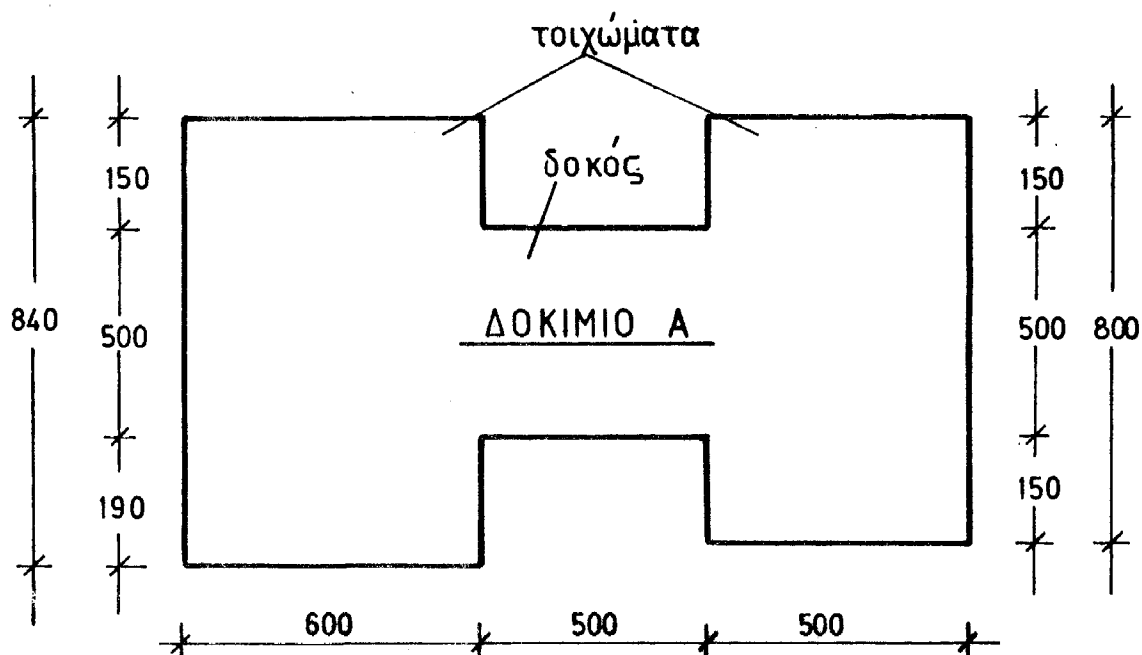
Για να καθορισθεί η μορφή των δοκιμίων που θα χρησιμοποιηθούν, γίνεται "απότμηση" ενός κατάλληλου τμήματος του φορέως των συζευγμένων τοιχωμάτων, το οποίο περιλαμβάνει και μία δοκό συνδέσεως (Σχ. 3.1).

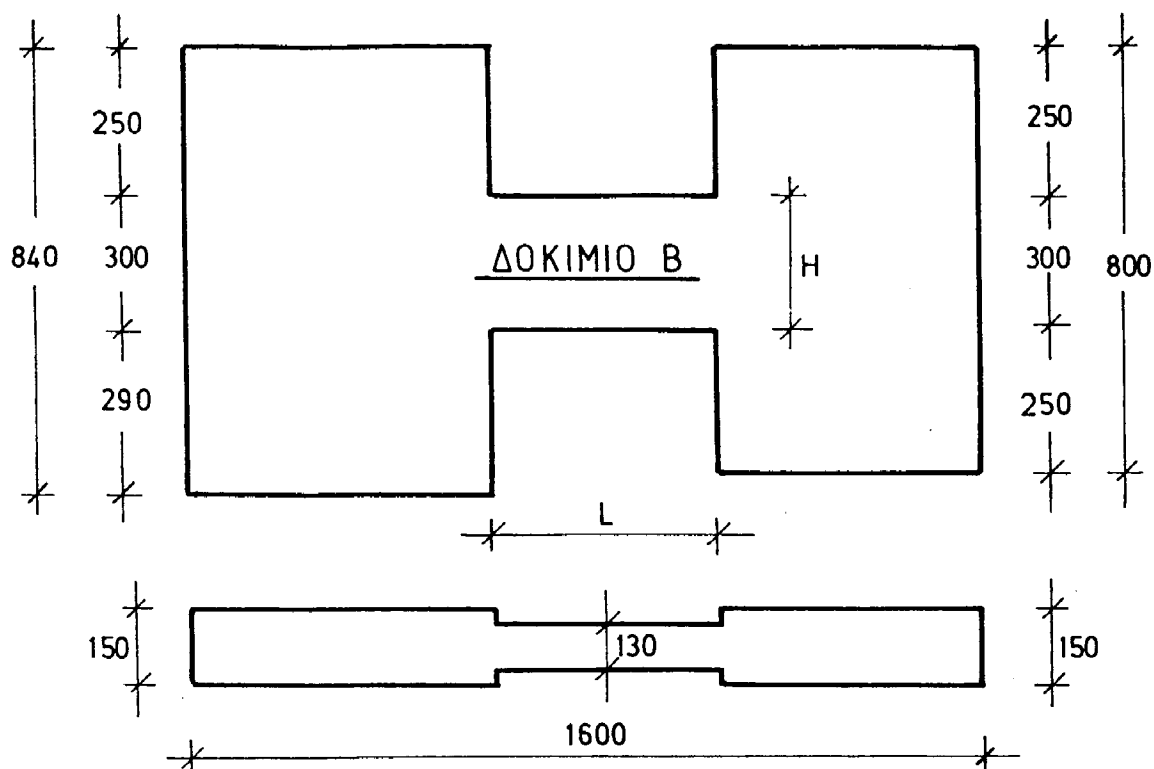


Σχ. 3.1: Η μορφή των δοκιμίων της έρευνας

Οι διαστάσεις των δοκιμίων εκλέχθηκαν έτσι ώστε και σχέση να έχουν με πραγματικές διαστάσεις, (όπως αυτές απαντώνται στην πράξη), τέτοιων δομικών στοιχείων (επιλογή κλίμακος), αλλά και να καλύπτουν σημαντικό εύρος των πιθανών "λόγων διατμήσεως". Η κατασκευή δοκιμίων σε φυσική ή σχεδόν σε φυσική κλίμακα, ήταν σχεδόν ανέφικτη σε συνθήκες Εργαστηρίου. Κάτι τέτοιο θα είχε ως αποτέλεσμα πολλαπλές δυσκολίες στην κατασκευή της πειραματικής διατάξεως (μεγάλο μέγεθος δυνάμεων απαιτούμενων για την θραύση των δοκιμίων) και τεράστια αύξηση του κόστους του ερευνητικού προγράμματος.

Τα δύο είδη δοκιμίων που τελικά αποφασίσθηκε να κατασκευασθούν, απεικονίζονται σχηματικά στο Σχ. 3.2.





Σχ. 3.2: Μορφή και διαστάσεις των δοκιμίων του προγράμματος

Οι διαστάσεις τους αντιστοιχούν σε κλίμακα 1:4. Οι εξωτερικές διαστάσεις κρατήθηκαν σταθερές στα δύο είδη δοκιμίων, έτσι ώστε όλα τα δοκίμια να φορτίζονται από την ίδια εντατική συσκευή. Το πάχος των δοκών συνδέσεως κατασκευάστηκε μικρότερο από το πάχος των εκατέρωθεν τοιχωμάτων για να διευκολύνεται η διέλευση των οπλισμών των δοκών στο εσωτερικό των τοιχωμάτων (βλέπε και κατασκευαστικά σχέδια). Παρατηρείται, ότι τα τμήματα "τοιχωμάτων" δεν είναι συμμετρικά ως προς τον άξονα που διέρχεται από το μέσον της δοκού. Η ασυμμετρία αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι το αριστερό τοίχωμα του δοκιμίου πακτώνεται, (βλέπε και περιγραφή της πειραματικής διατάξεως) και ως εκ τούτου χρειάζεται να έχει μεγαλύτερες διαστάσεις για να επιτυγχάνεται πλήρης πάκτωσή του.

3.2.2. Μελετώμενες παράμετροι

Η πρώτη από τις παραμέτρους που μελετώνται είναι ο λόγος διατμήσεως των δοκών. Ο λόγος διατμήσεως αμφιπάκτου δοκού, είναι:

$$\alpha_s = \frac{M}{V \cdot H} = \frac{L}{2H}$$

όπου L και H , το μήκος και το ύψος της δοκού αντίστοιχα.

Απο το Σχ. 3.2. γίνεται φανερό ότι επιλέγησαν δύο διαφορετικοί λόγοι διατμήσεως, $\alpha_s = 0.5$ ($L/H = 1$) και $\alpha_s = 0.83$ ($L/H = 1.67$). Σημειώνεται ότι βάσει της βιβλιογραφίας, δοκοί με λόγο διατμήσεως $\alpha_s = 1.5$ ($L/H = 3$) τείνουν να συμπεριφέρονται όπως οι συνήθεις δοκοί απο ωπλισμένο σκυρόδεμα. Ο λόγος διατμήσεως $\alpha_s = 0.83$ θεωρήθηκε επομένως ως ενδιάμεσο όριο, ενώ ο λόγος διατμήσεως $\alpha_s = 0.5$ ως κάτω όριο αφού ούτε στην βιβλιογραφία, ούτε σε πραγματικές κατασκευές απαντώνται δοκοί τέτοιου είδους με λόγο $L/H < 1$.

Η δεύτερη παράμετρος που διερευνάται είναι ο τρόπος οπλίσεως των δοκών:

- 1) Ο κλασικός τρόπος οπλίσεως δοκών απο ωπλισμένο σκυρόδεμα με οριζόντιες (διαμήκεις) ράβδους και κλειστούς κατακόρυφους συνδετήρες.
- 2) Η όπλιση με δισδιαγώνιες "κρυφοκολώνες" και βοηθητικούς κλειστούς κατακόρυφους συνδετήρες.
- 3) Η όπλιση με χιαστί οπλισμούς στις στηρίξεις - άκρα της δοκού και κλειστούς κατακόρυφους συνδετήρες.
- 4) Η όπλιση με καλώς αγκυρωμένα βλήτρα-σφιγκτήρες σε όλο το μήκος της δοκού και κλειστούς κατακόρυφους συνδετήρες, και τέλος
- 5) Η όπλιση με σειρά κοντών βλήτρων στις στηρίξεις της δοκού και κλειστούς κατακόρυφους συνδετήρες.

Ο κλασικός τρόπος οπλίσεως φαίνεται ότι δυστυχώς χρησιμοποιείται και σήμερα στις συνήθεις περιπτώσεις της πράξεως. Η όπλιση με δισδιαγώνιες κρυφοκολώνες προτάθηκε αρχικά απο τον Paulay (1972). Το Προσχέδιο του Νέου Ελληνικού Κανονισμού Σκυροδέματος (1985) επιβάλλει την διάταξη τέτοιων οπλισμών στην περίπτωση που:

$$\tau_d > 2 \frac{L}{H} \tau_{Rd} \quad \text{και}$$

$$\rho' = \rho > \frac{1}{4} \frac{L}{H} \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yk}}}$$

Οι χιαστί οπλισμοί στα άκρα της δοκού χρησιμοποιήθηκαν απο τον Ι. Τέγον (1986) και απο Κινέζους ερευνητές (1986). Η

χρήση βλήτρων σε όλο το μήκος ή στις στηρίξεις της δοκού προτείνεται για πρώτη φορά.

Συνολικά κατασκευάσθηκαν δέκα δοκίμια με πέντε τρόπους οπλίσεως και δύο διαφορετικούς λόγους διατμήσεως.

Στον Πιν. 3.1 απεικονίζονται τα δέκα δοκίμια του προγράμματος, δίνονται οι διαστάσεις των δοκών κάθε δοκιμίου και καθορίζεται ο κωδικός αριθμός βάσει του οποίου θα χαρακτηρίζεται κάθε δοκίμιο.

3.2.3. Διάταξη των οπλισμών

Στις σελίδες 15 έως και 25 παρουσιάζονται τα σχέδια διατάξεως των οπλισμών της έρευνας (Σ1 έως και Σ11).

Με βάση τα σχέδια αυτά μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

1. Τα εκατέρωθεν της δοκού τοιχώματα οπλίζονται με πυκνό πλέγμα οριζόντιων και κατακόρυφων οπλισμών (βλέπε σχέδιο Σ1). Οι οπλισμοί αυτοί που είναι κοινοί σε όλα τα δοκίμια του προγράμματος, σκοπό έχουν να αποτρέψουν ρηγμάτωση των τοιχωμάτων στην διάρκεια του πειράματος. Στα τέσσερα άκρα του αριστερού τοιχώματος το οποίο πακτώνεται, καθώς και στα δύο κάτω άκρα του δεξιού, μέσω του οποίου εισάγεται η ένταση στην δοκό, τοποθετούνται γωνιακά μεταλλικά ελάσματα ενισχύσεως τα οποία ηλεκτροσυσκολύονται πάνω στους οπλισμούς. Η τοποθέτηση τους αποδείχθηκε από τα αποτελέσματα του προπειράματος αναγκαία, για να αποφευχθεί τοπική σύνθλιψη του σκυροδέματος στις κρίσιμες αυτές γωνίες των δοκιμίων.
2. Λόγω του μικρού πάχους των δοκών ($t = 130 \text{ mm}$), η αγκύρωση των κατακόρυφων συνδετήρων με άγκιστρα ($135^\circ - 180^\circ$) προκάλούσε κατασκευαστικά προβλήματα. Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα, η αγκύρωση των συνδετήρων έγινε με ηλεκτροσυγκόλληση.
3. Στα δοκίμια CB-2A και CB-2B η διαμόρφωση των οπλισμών παρουσίασε ομολογουμένως κάποιες δυσκολίες. Παρόλα αυτά, κατασκευάσθηκαν όπως ακριβώς είχαν σχεδιασθεί. Για την περίσφιγξη των διαγώνιων ράβδων τοποθετήθηκαν συνδετήρες

Συμβολισμοί ονοματολογίας

CB: δοκός συνδέσεως

1: κλασική όπλιση

2: διαδιαγώνιες "κρυφοκολώνες"

3: χιαστί οπλισμοί στις πακτώσεις

4: "βλήτρα-σφυγκιήρες" σε όλο το μήκος της δοκού

5: κοντά-βλήτρα στις πακτώσεις

A: δοκίμιο με $\alpha_s = 0.50$ ($L/H = 1$)

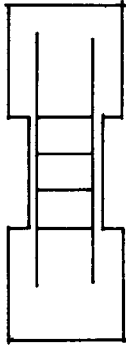
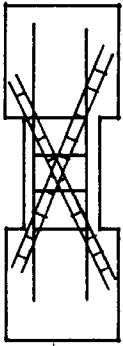
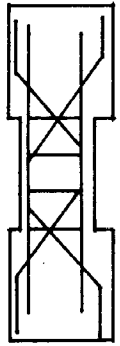
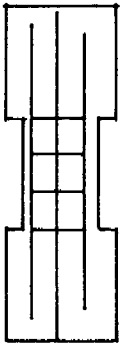
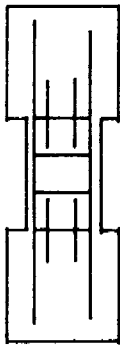
B: δοκίμιο με $\alpha_s = 0.83$ ($L/H = 1.67$)

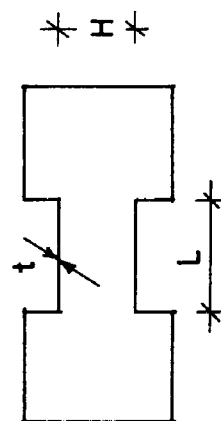
επομένως,

το όνομα κάθε δοκιμίου φανερώνει τον τρόπο οπλίσεως του και τον λόγο δια-
τιμήσεως της δοκού ($\alpha_s = L/2H$)

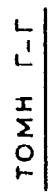
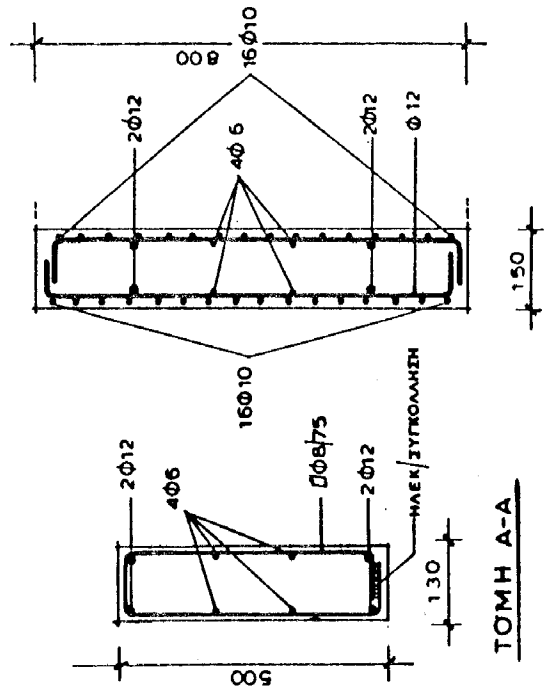
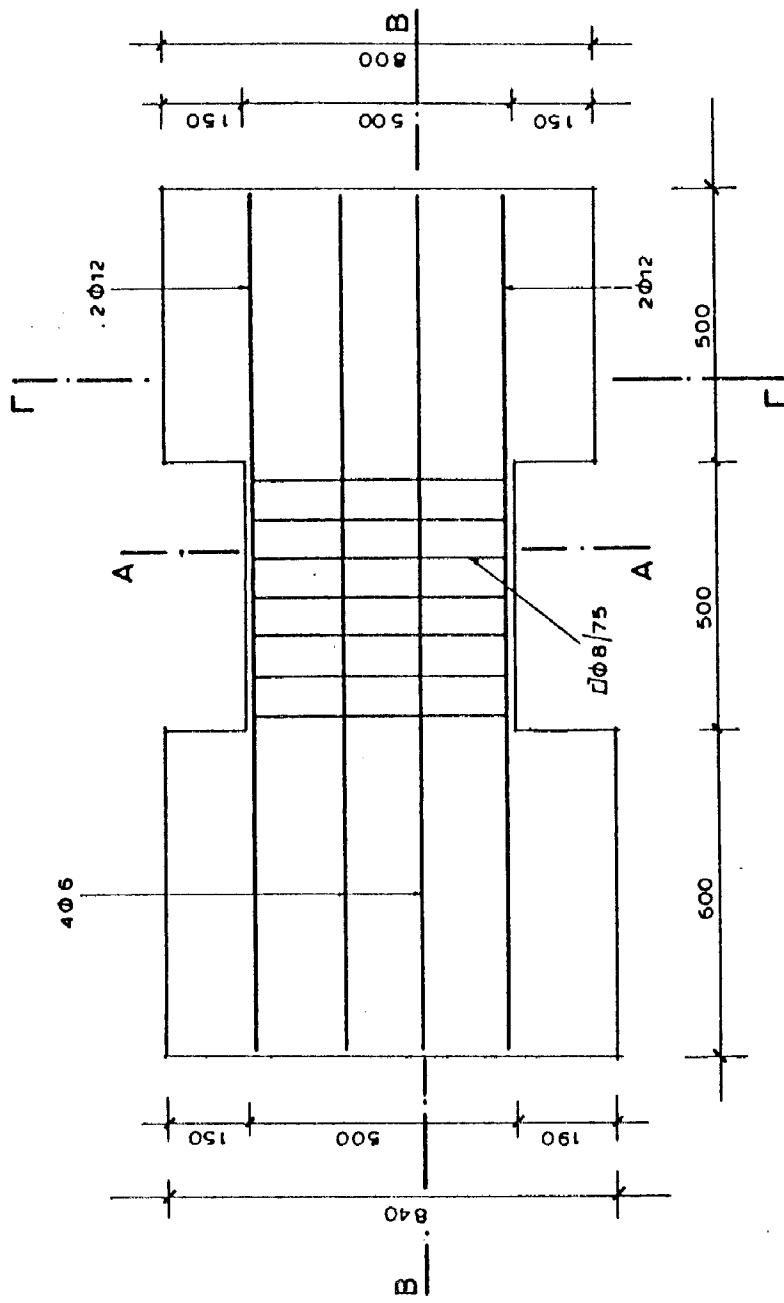
Συνολικό πλήθος δοκιμών: 10

(κατασκευάσθηκε και ένα δοκιμαστικό ομοίωμα).

Κωδικός Αριθμός Δοκιμίου	Διάταξη οπλισμών	L (mm)	H (mm)	t (mm)
CB-1A		500	500	130
CB-1B		500	300	130
CB-2A		500	500	130
CB-2B		500	300	130
CB-3A		500	500	130
CB-3B		500	300	130
CB-4A		500	500	130
CB-4B		500	300	130
CB-5A		500	500	130
CB-5B		500	300	130



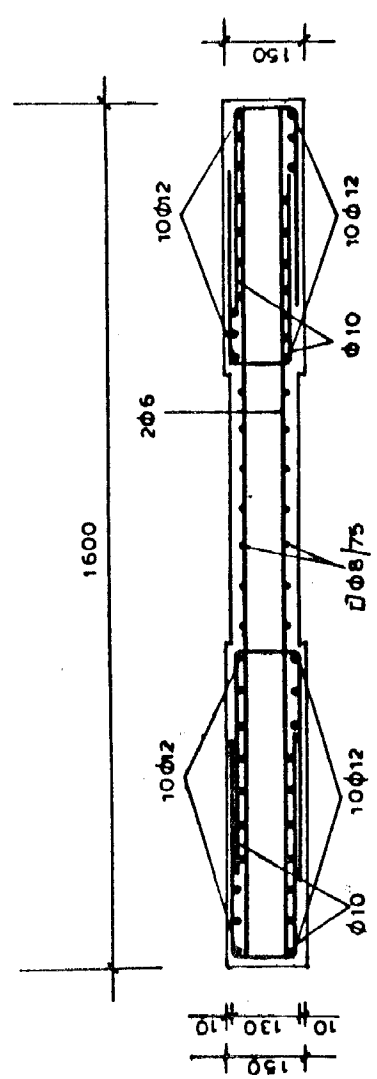
Πίνακας 3.1.



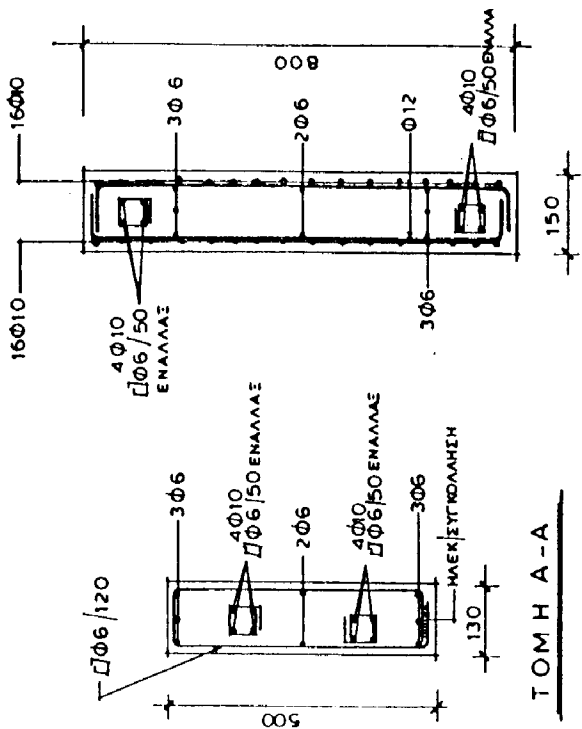
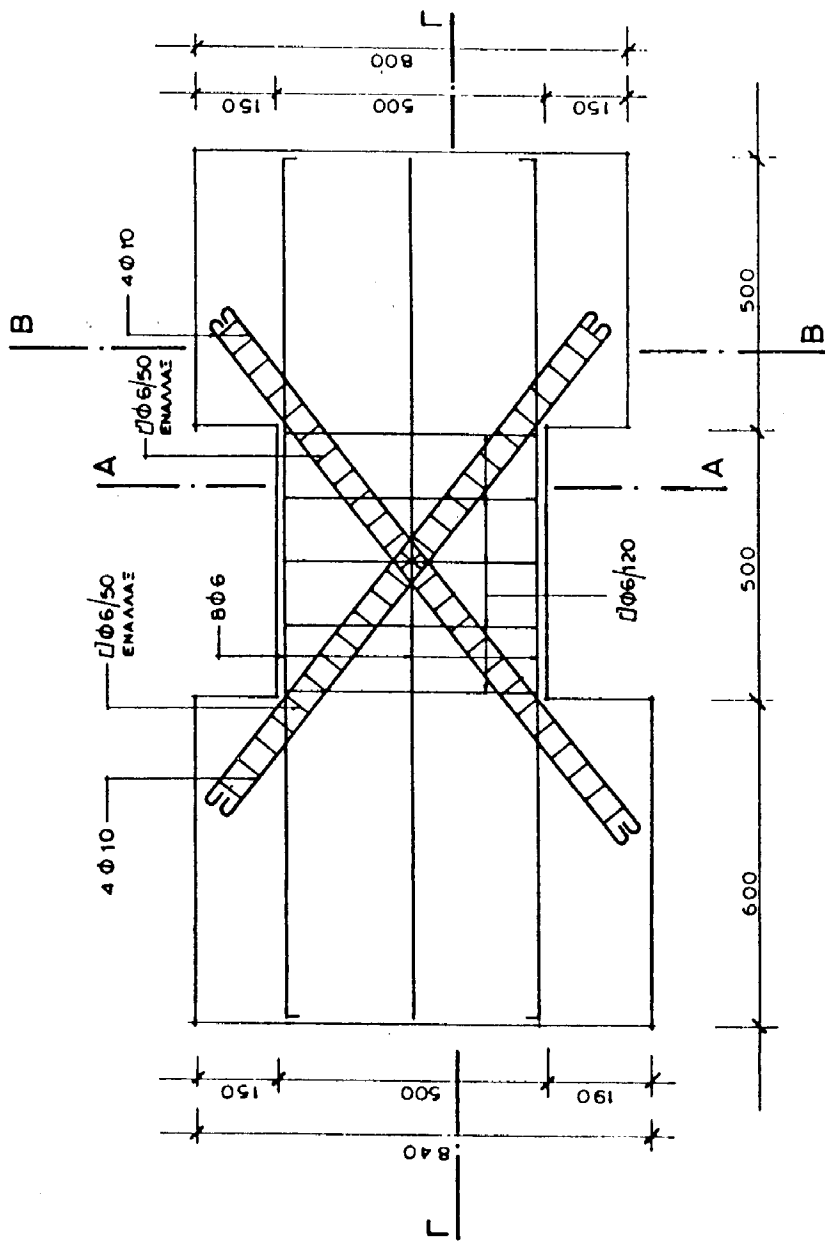
ΣΗΜΕΙΩΣΗ :
ΓΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΒΛΕΠΕ ΣΧΕΔΙΟ Σ1

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΩΣΜΑΤΟΣ
Ε.Μ.Π.
ΕΡΕΥΝΑ ΟΑΣΠ: ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ
ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΥΠΟ
ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕΝΗ ΕΝΤΑΣΗ

Σ 2 ΔΟΚΙΜΙΟ CB - 1A ΚΑ. 1:10

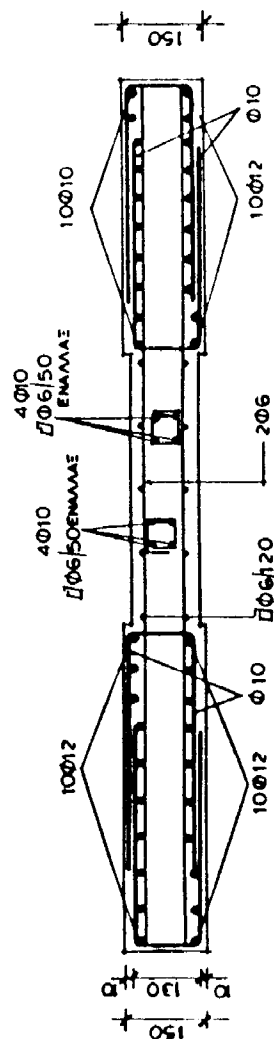


ΤΟΜΗ Β-Β



ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

ΓΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΒΛΕΠΕ ΣΧΕΔΙΟ Σ 1



ΤΟΜΗ Γ-Γ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
Ε.Μ.Π.

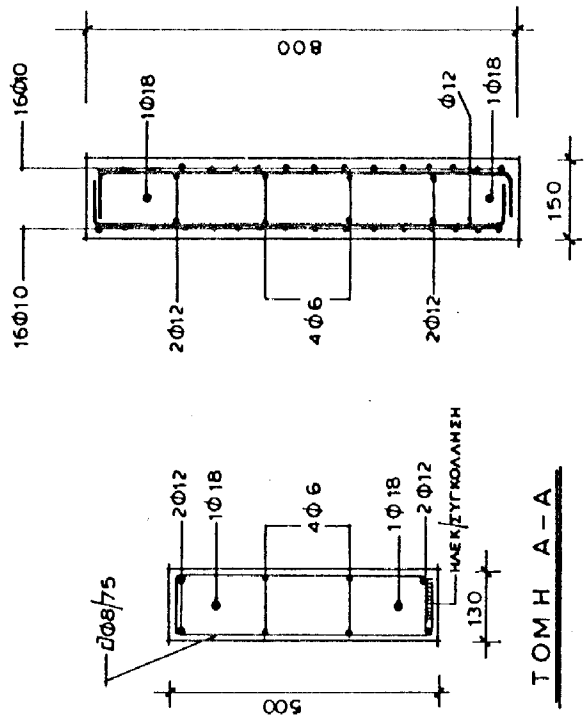
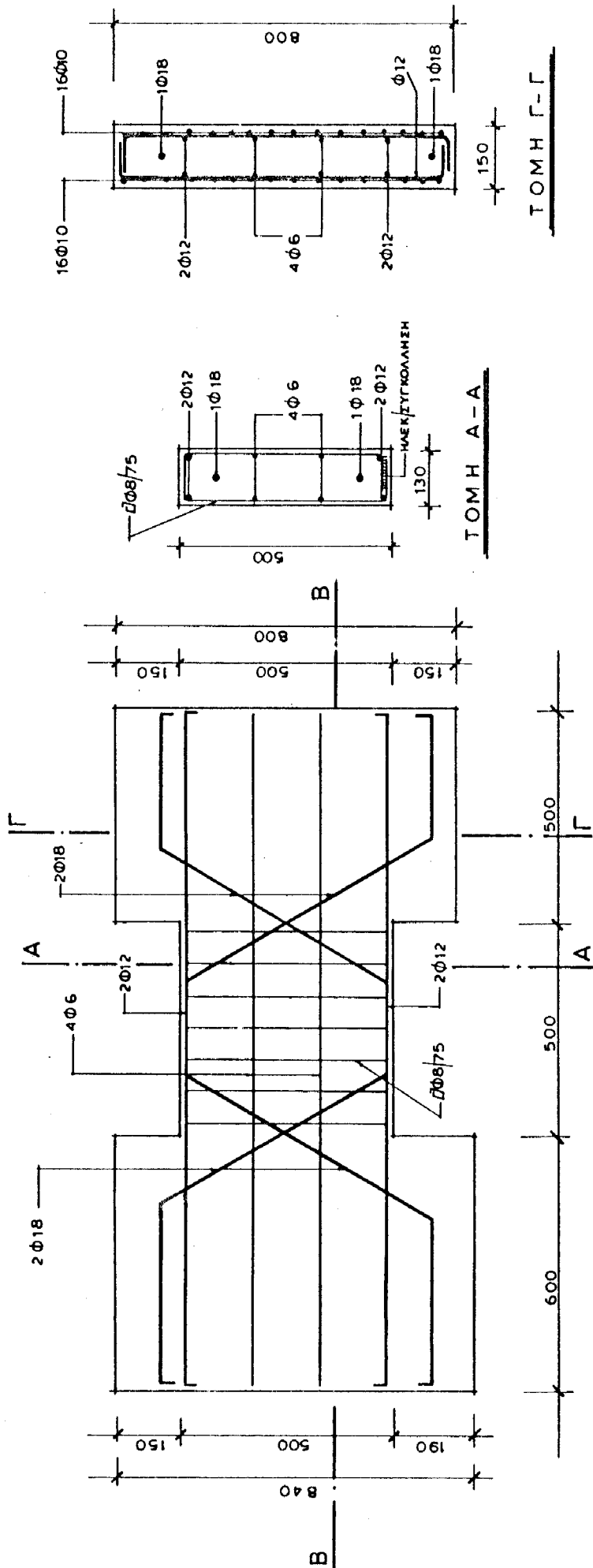
ΕΡΕΥΝΑ Ο.Α.Σ.Π.:

ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ
ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕ-
ΝΗ ΕΝΤΑΣΗ,

Σ 3

ΔΟΚΙΜΙΟ ΣΒ - 2Α

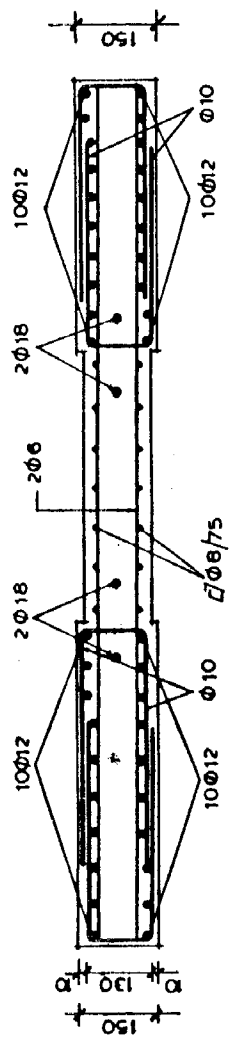
ΚΑ. 1:10

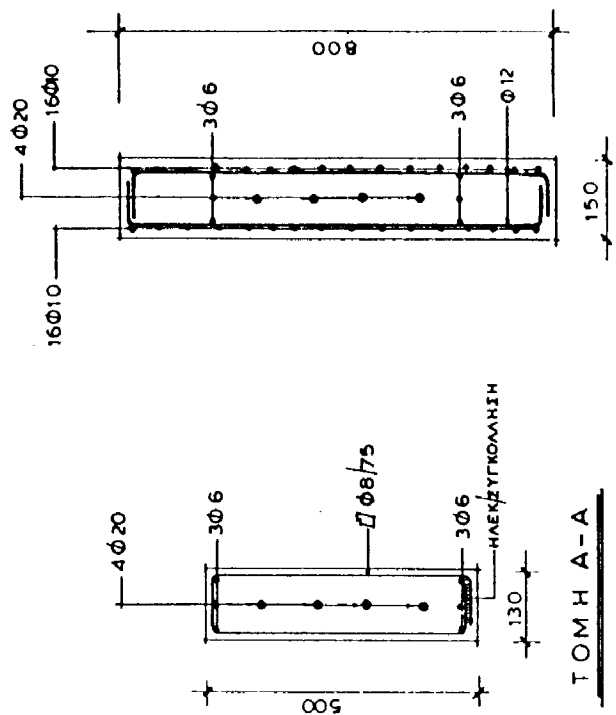
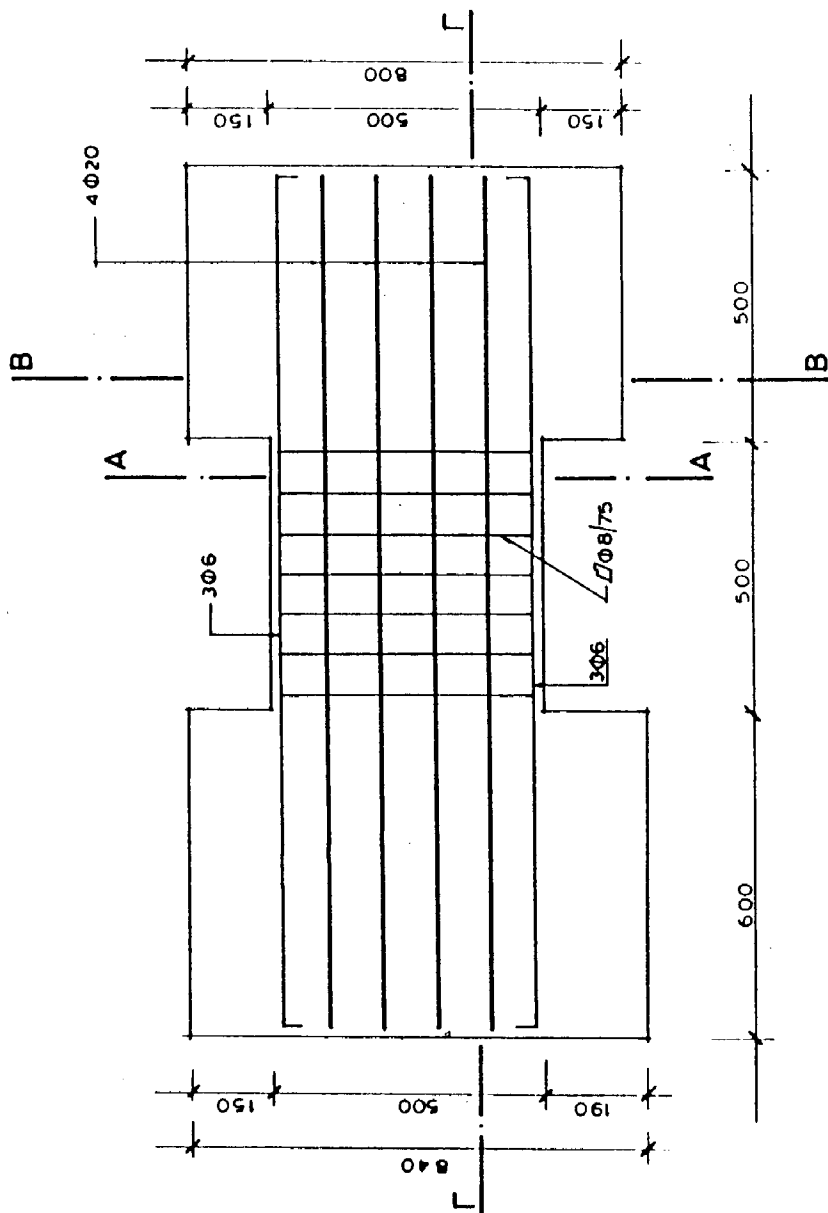


ΤΟΜΗ Γ-Γ

ΣΗΜΕΙΩΣΗ:
ΓΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΒΛΕΠΕ ΣΧΕΔΙΟ Σ 1

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ Ε.Μ.Π		
ΕΡΕΥΝΑ Ο.Α.Σ.Π.: "ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕ- ΝΗ ΕΝΤΑΣΗ,"		
Σ 4	ΔΟΚΙΜΙΟ CB - 3A	ΚΑ. 1:10

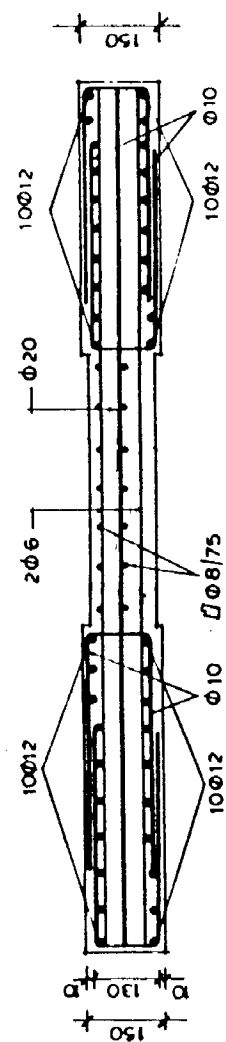




ΤΟΜΗ Β-Β

ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

ΓΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΒΛΕΠΕ ΣΧΕΔΙΟ Σ 1



ΤΟΜΗ Γ-Γ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
Ε.Μ.Π.

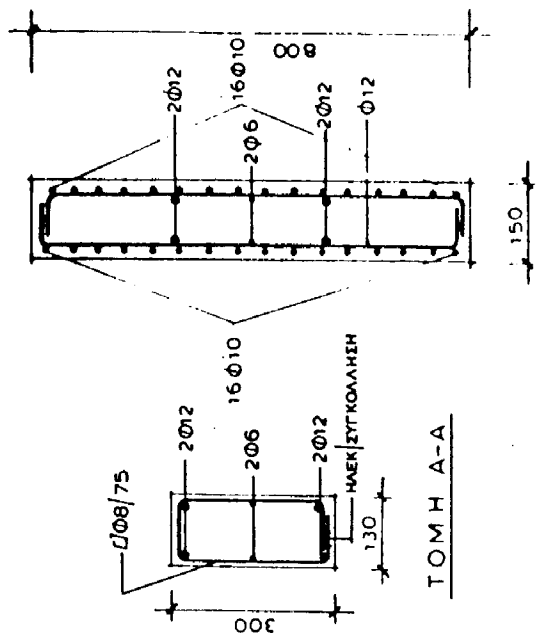
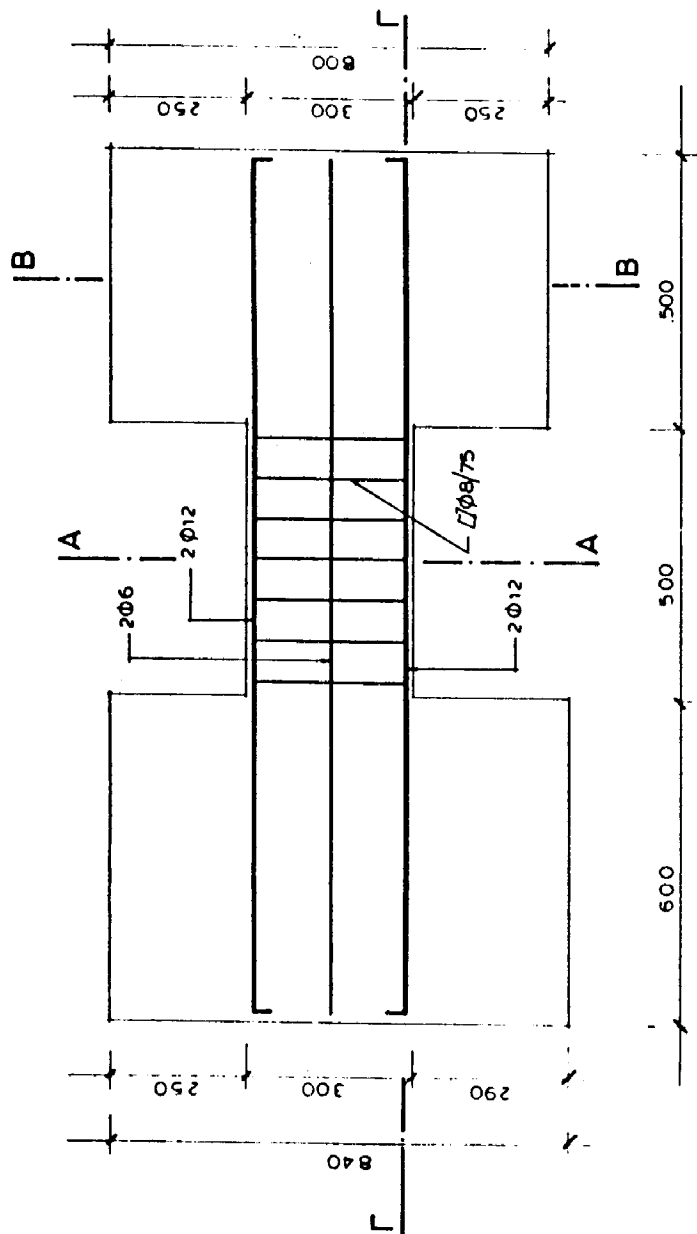
ΕΡΕΥΝΑ Ο.Α.Σ.Π.:

ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ
ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕ-
ΝΗ ΕΝΤΑΣΗ,

Σ 5

ΔΟΚΙΜΙΟ CB - 4A

ΚΑ 1.10



ΤΟΜΗ Β-Β

ΣΗΜΕΙΩΣΗ :

ΓΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΒΛΕΠΕ ΣΧΕΔΙΟ Σ1

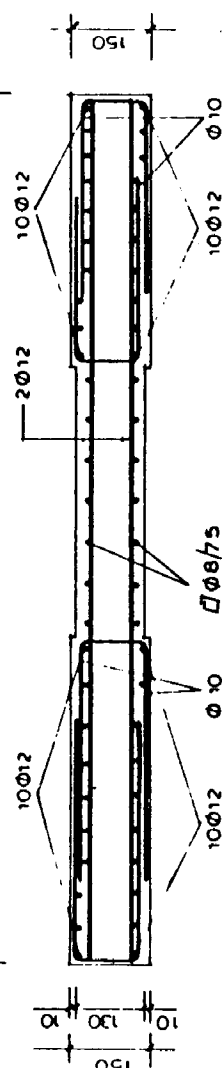
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
Ε.Μ.Π.

ΕΡΕΥΝΑ ΟΑΣΠ
ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ
ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕ-
ΝΗ ΕΝΤΑΣΗ,

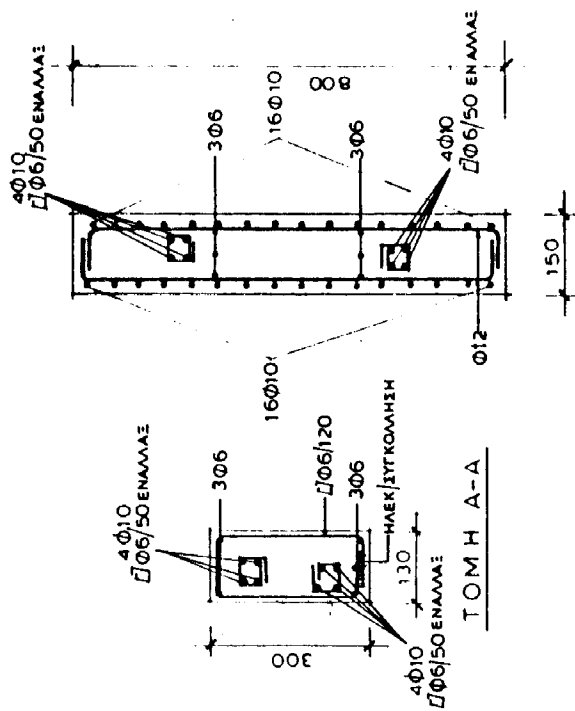
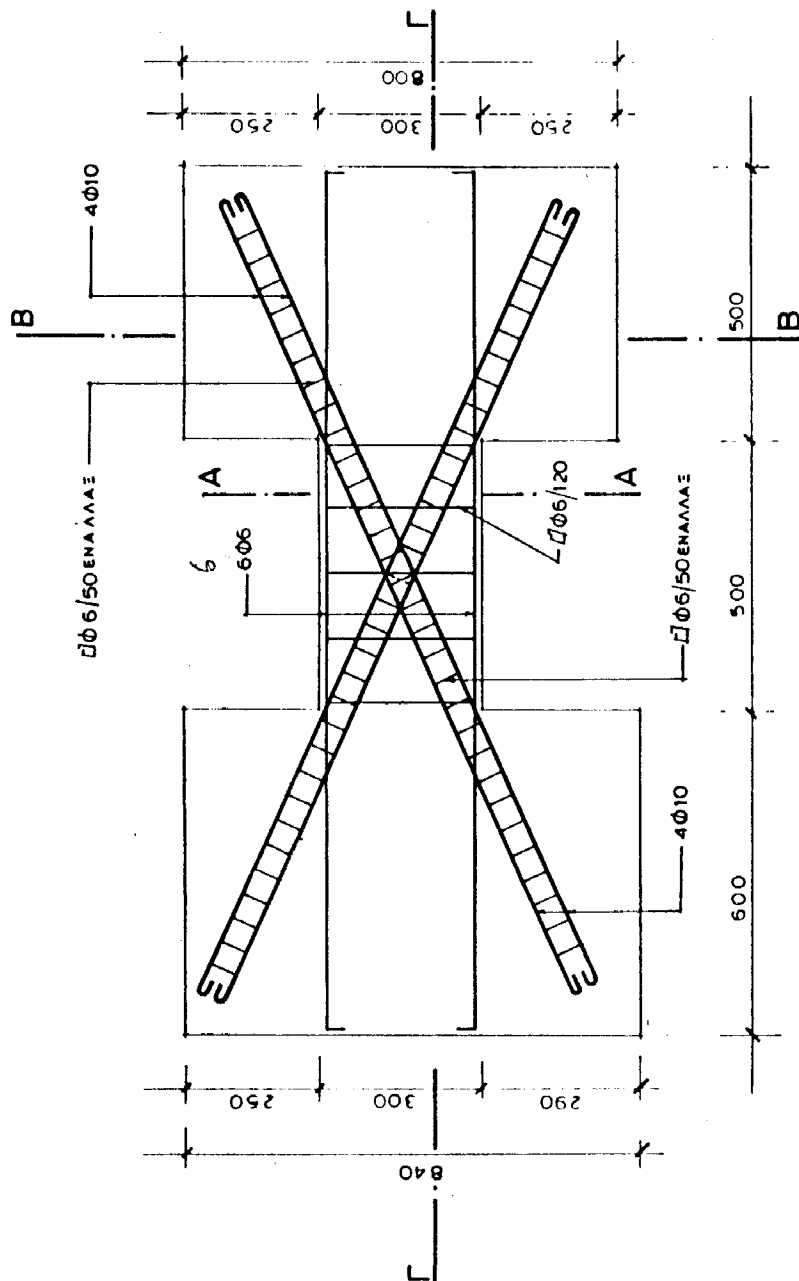
ΔΟΚΙΜΙΟ CB-1B

ΚΑ. 1-10

Σ 7



ΤΟΜΗ Γ-Γ



ΤΟΜΗ Β-Β

ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

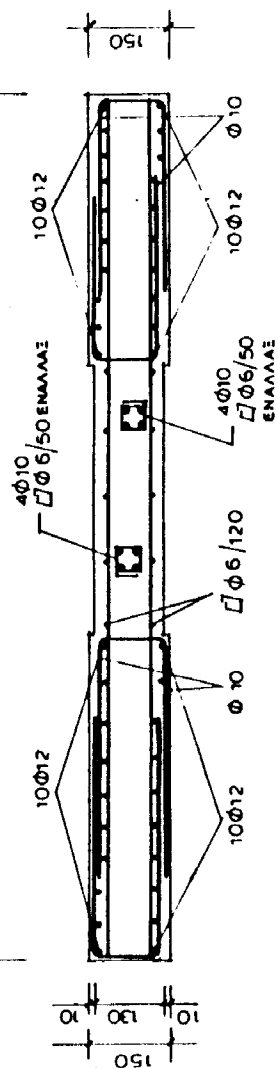
ΓΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΒΛΕΠΕ ΣΧΕΔΙΟ Σ 1

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΣΜΑΤΟΣ
Ε.Μ.Π.

ΕΡΕΥΝΑ ΟΑΣΠ

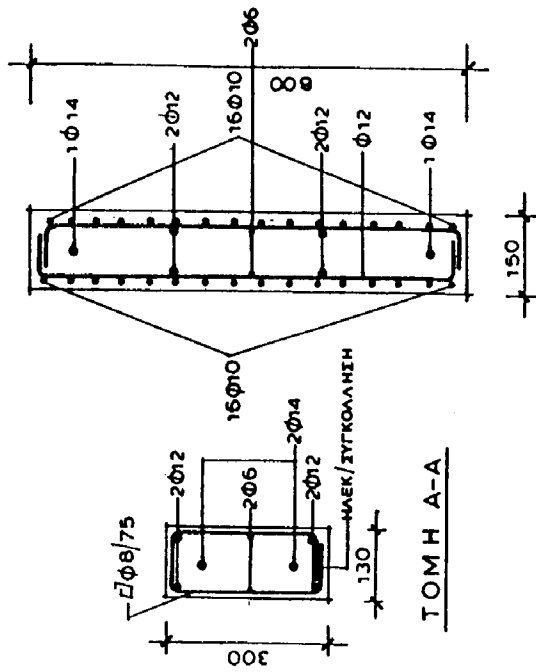
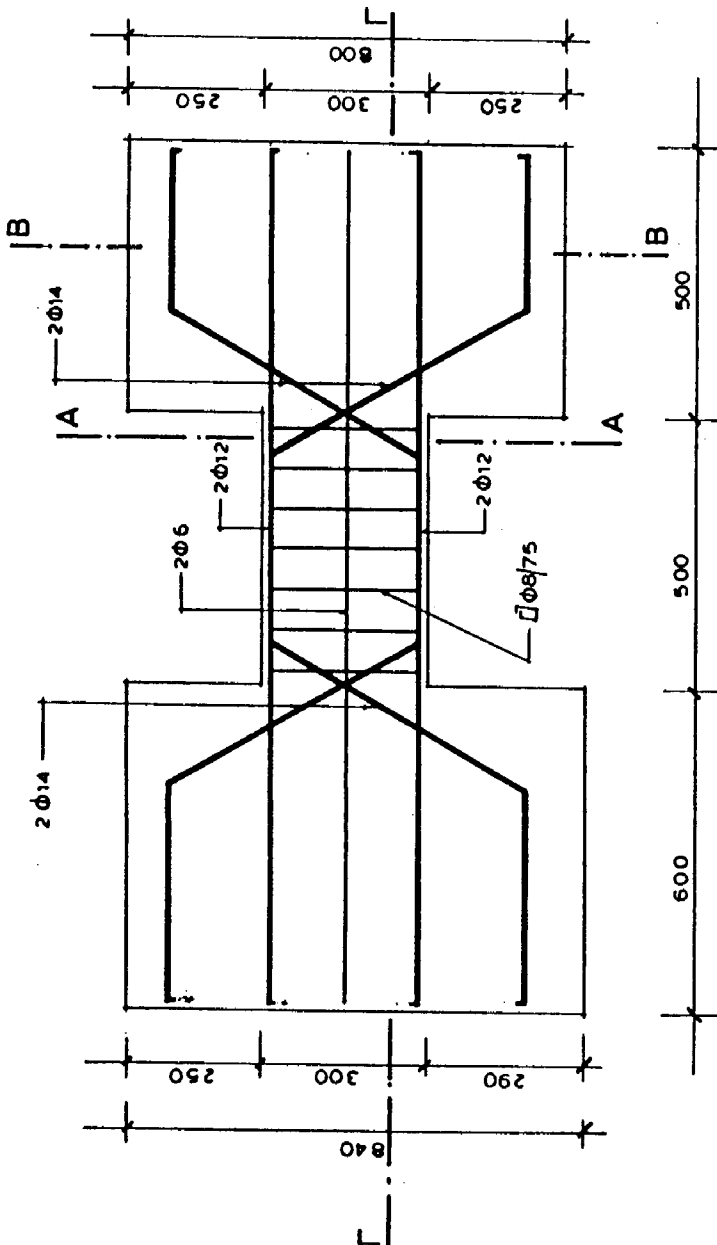
ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ
ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΣΙΜΟ-
ΝΗ ΕΝΤΑΣΗ,

ΤΟΜΗ Γ-Γ



Σ 8 ΔΟΚΙΜΙΟ CB-2B

ΚΑ. 1.10



ΤΟΜΗ Β-Β

ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

ΓΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΒΛΕΠΕ ΣΧΕΔΙΟ Σ1

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
Ε.Μ.Π.

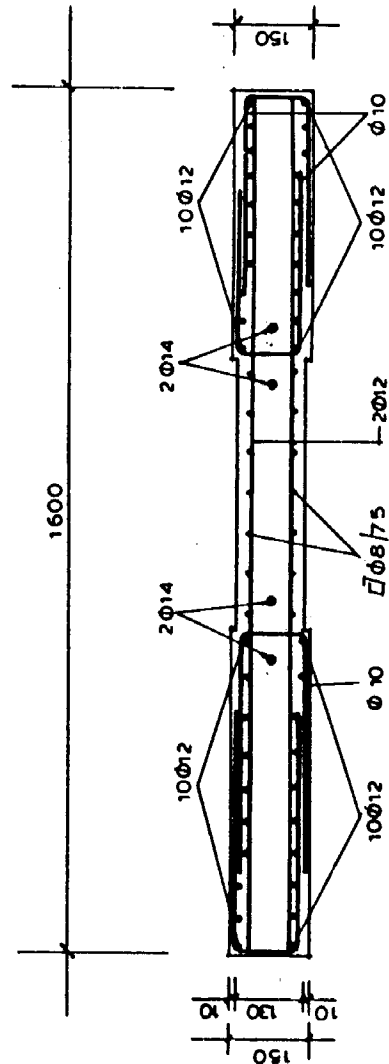
ΕΡΕΥΝΑ ΟΑΣΠ:

ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ
ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕ-
ΝΗ ΕΝΤΑΣΗ,

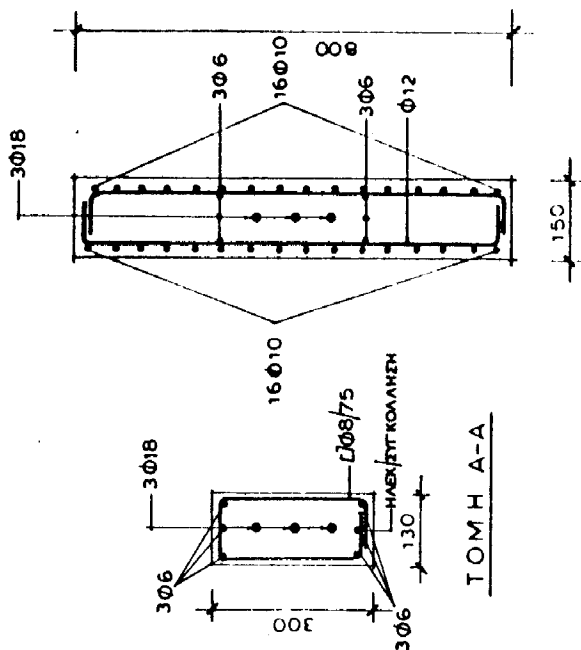
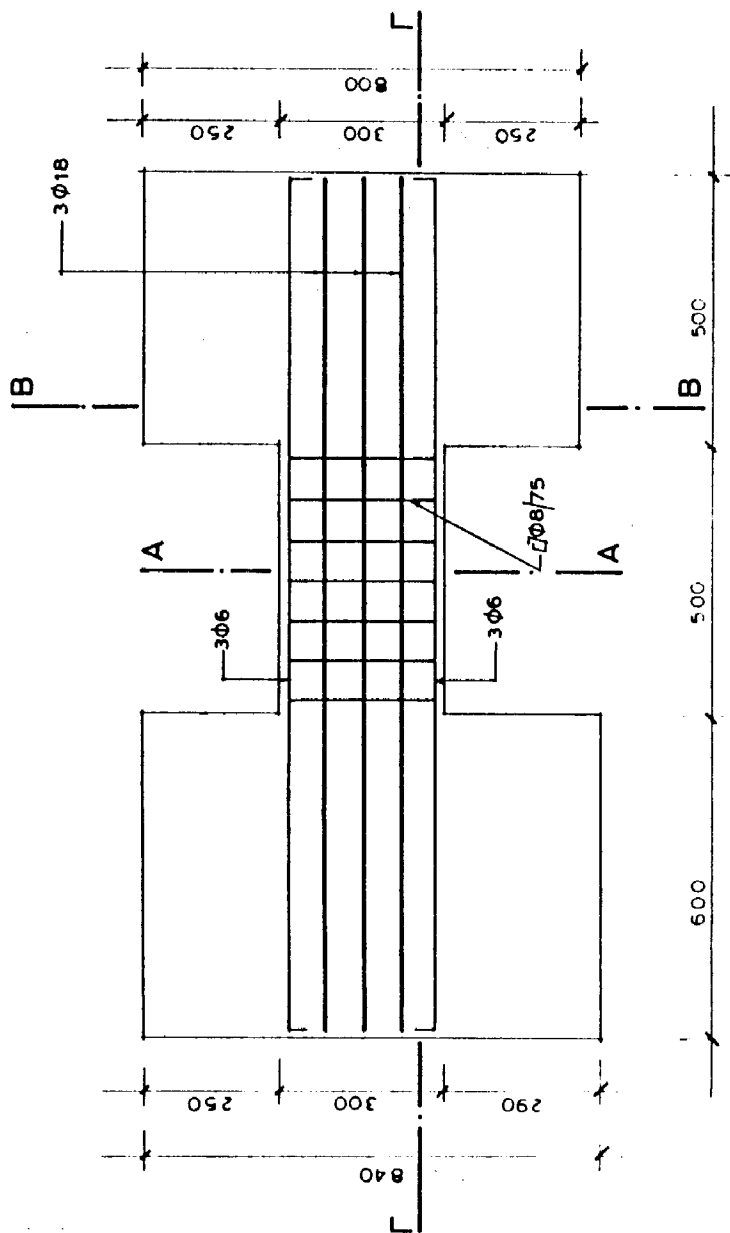
Σ 9

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-3B

ΚΛ. 1:10



ΤΟΜΗ Γ-Γ



ΤΟΜΗ Β-Β

ΣΗΜΕΙΩΣΗ :

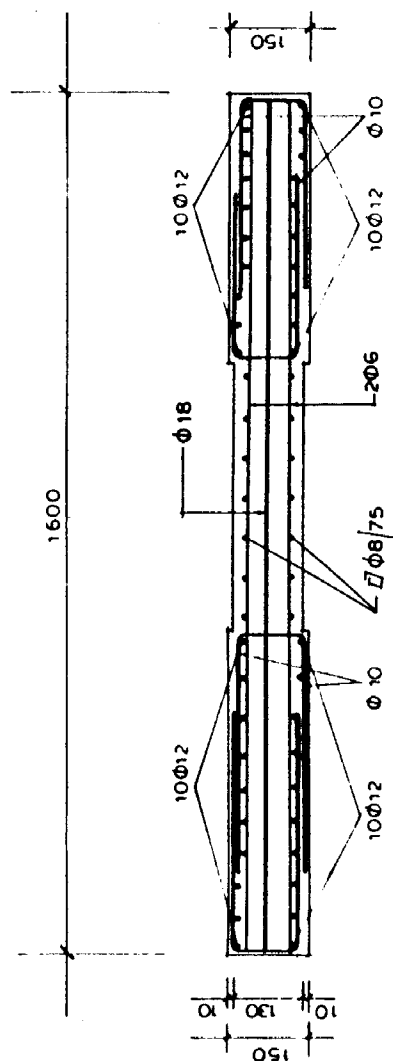
ΓΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΒΛΕΠΕ ΣΧΕΔΙΟ Σ 1

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
Ε.Μ.Π.**

ΕΡΕΥΝΑ ΟΑΣΠ :

ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ
ΤΟΙΧΟΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕ-
ΝΗ ΕΝΤΑΣΗ,

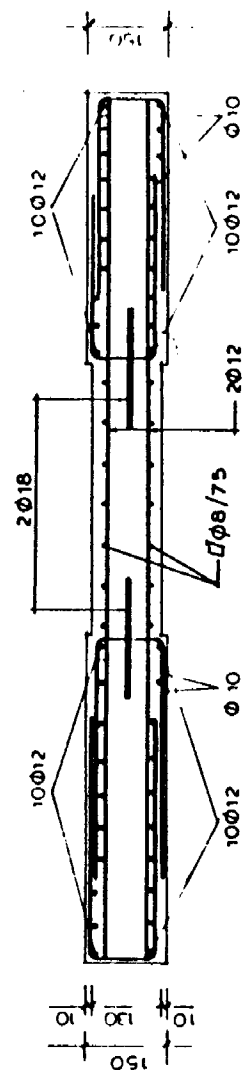
ΤΟΜΗ Γ-Γ



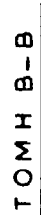
Σ 10

ΔΟΚΙΜΙΟ CB - 4B

ΚΑ 110



ТОНН Г-Г



ИЗВЕЩА:

ΓΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΒΛΕΠΕ ΣΧΕΔΙΟ Σ' 1

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
Ε.Μ.Π

ΕΡΕΥΝΑ ΟΑΣΠ:

ΔΟΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ
ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕ-
ΝΗ ΕΝΤΑΣΗ,

Σ 11

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-5B

КА. 1 10

διαμέτρου 6 mm και διαστάσεων 50x50 mm. Η αγκύρωσή τους με άγκιστρα ήταν βεβαίως αδύνατη λόγω των εξαιρετικά μικρών τούς διαστάσεων. Ο μοναδικός δύσκολος συνδετήρας είναι εκείνος που αντιστοιχεί στο σημείο τομής των δύο διαγώνιων κρυφοκολώνων. Στην θέση αυτή αντί για κλειστό συνδετήρα, τοποθετήσαμε διπλές φουρκέτες σε σχήμα \sqcup .

4. Στα δοκίμια CB-3A και CB-3B οι χιαστί οπλισμοί τοποθετήθηκαν υπο γωνία 60° , έτσι ώστε το σημείο τομής τους να βρίσκεται πάνω στην νοητή ευθεία που ορίζει το άκρο της δοκού και στο μέσον του ύψους της.
5. Στα δοκίμια CB-4A, CB-4B, CB-5A και CB-5B, τα βλήτρα τοποθετήθηκαν σε καθορισμένες αποστάσεις από την άνω και κάτω παρειά της δοκού ώστε να είναι δυνατή η ενεργοποίηση του μηχανισμού δράσεως βλήτρου (πρβλ. Βιντζηλαίου/Τάσιος).
6. Κατά μήκος των ράβδων του οπλισμού, στις κρίσιμες περιοχές της δοκού (οι οποίες είναι διαφορετικές για κάθε είδος δοκιμίου λόγω του διαφορετικού τρόπου οπλίσεώς-του), συγκολλήθηκαν ηλεκτρο-μηκυνσιόμετρα (strain gauges). Οι ενδείξεις-τους παρέχουν την κατανομή των τάσεων στους οπλισμούς. Τοποθετήθηκαν συνολικά 170 ηλεκτρομηκυνσιόμετρα.
7. Ολοκληρώνοντας πρέπει να αναφέρουμε ότι όλοι οι τρόποι οπλίσεως που αποφασίσθηκε να δοκιμασθούν, κατασκευάσθηκαν - παρά τις κάποιες δυσκολίες λόγω των μικρών διαστάσεων των δοκιμίων - όπως ακριβώς είχαν αρχικά σχεδιασθεί. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι στην περίπτωση που από τα αποτελέσματα των πειραμάτων κριθούν ως κατάλληλοι, η εφαρμογή τους στην πράξη είναι πράγματι δυνατή.

Στις φωτογραφίες των Σχ. 3.3 έως και Σχ. 3.12, εικονίζονται οι οπλισμοί των δοκιμίων της έρευνας.

3.2.4. Σκυροδέτηση δοκιμίων

Η πυκνότητα των οπλισμών, σε συνδυασμό με τις μικρές διαστάσεις των δοκιμίων, επέβαλλαν την χρήση γαρμπιλοσκυροδέματος (μέγιστη διάμετρος κόκκου αδρανών $d_{\max} = 15 \text{ mm}$).

Η σύνθεση από την οποία προέκυψε το σκυρόδεμα σκυροδετήσεως των δοκιμών, φαίνεται στον κατωτέρω πίνακα:

γλικά kg/m ³ σκυροδέματος	άμμος	1030
	γαρμπίλι	840
	τσιμέντο	300
	νερό	190
ρευστοποιητικό 0,75 lt		

Πίν. 3.2.

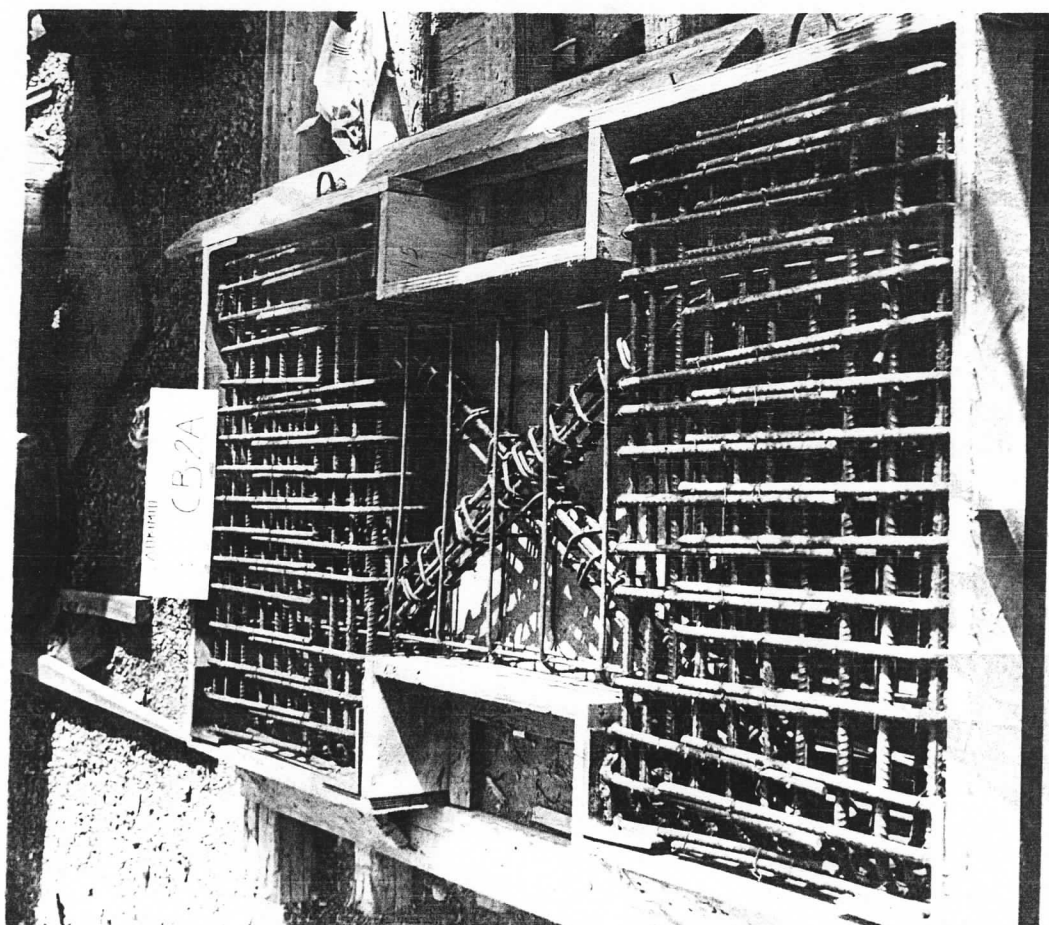
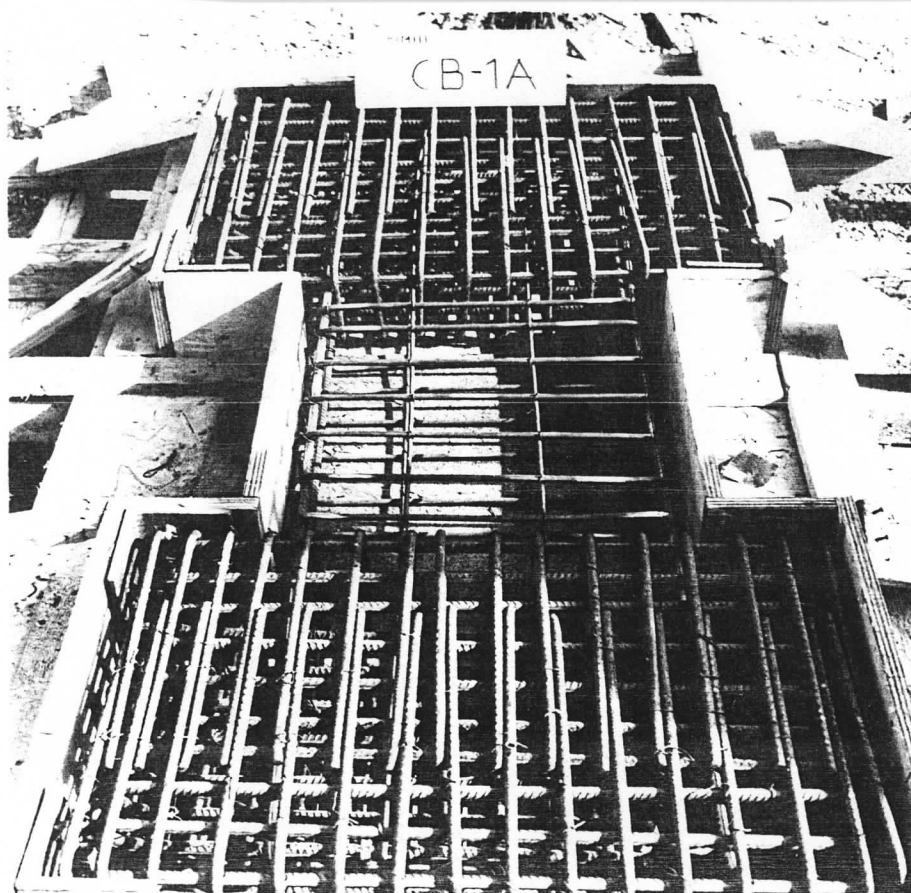
Τα δοκίμια CB-1A, CB-1B, CB-3A, CB-3B και CB-4B, σκυροδετήθηκαν την 16.3.1988. Τα δοκίμια CB-4A, CB-5B και CB-5A σκυροδετήθηκαν την 17.3.1988, ενώ τα δοκίμια CB-2A και CB-2B την 5.4.1988.

Οι αντοχές κύβων, διαστάσεων 20X20X20 cm σε ηλικία 28 ημερών, φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

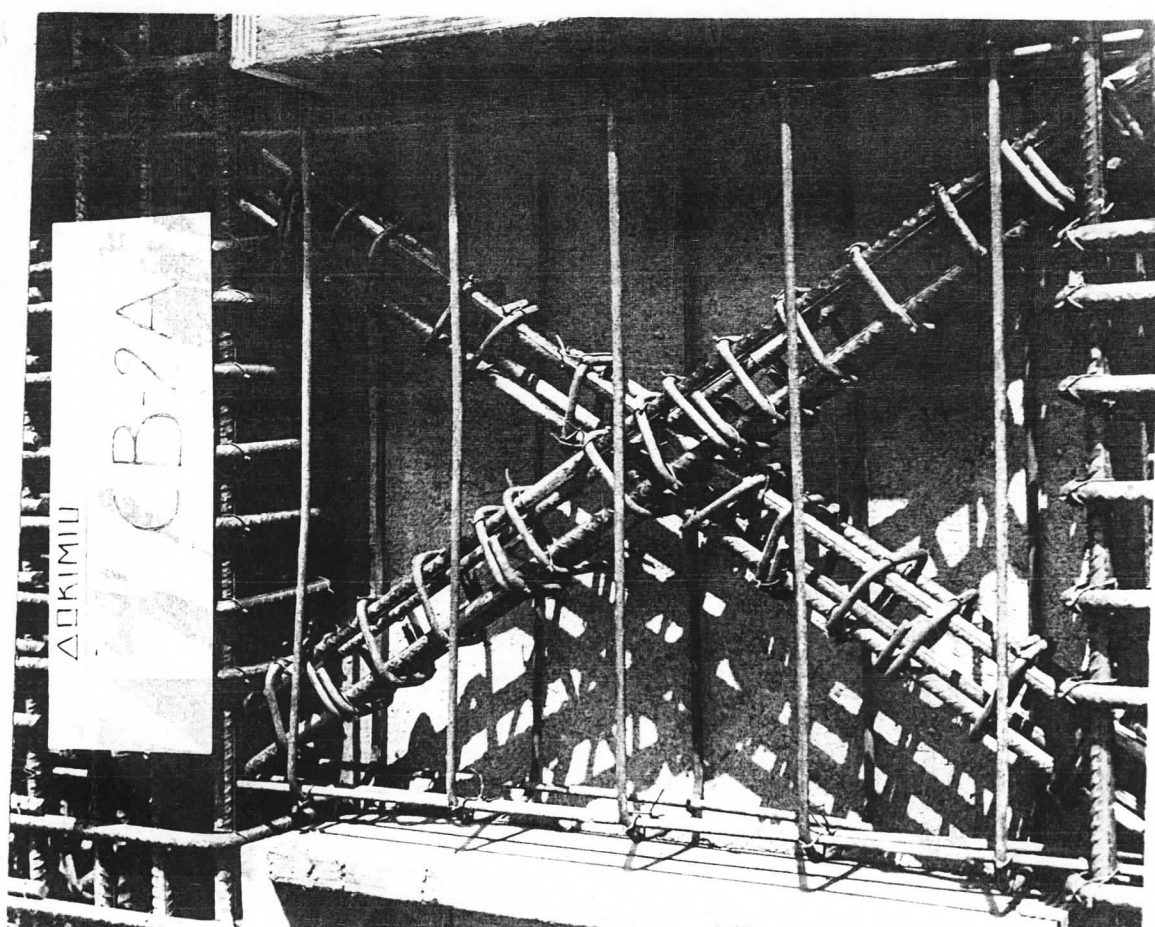
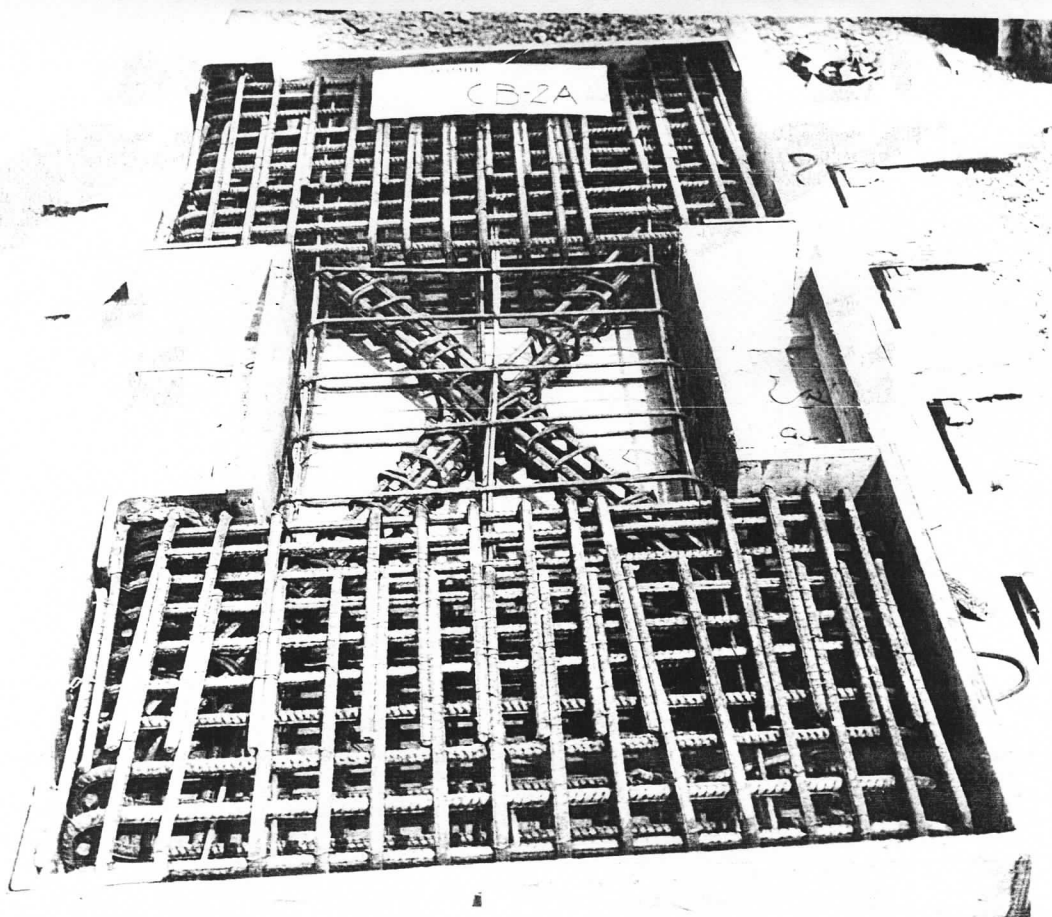
Πίνακας 3.3: Αντοχές δειγμάτων σκυροδέματος

Δοκίμια	θλιπτική αντοχή σκυροδέματος ηλικίας 28 ημ., (kg/cm ²)		
	Κύβος 1	Κύβος 2	Κύβος 3
CB-1A CB-1B CB-3A CB-3B CB-4B	331.25	325.00	356.50
CB-4A CB-5A CB-5B	317.00	326.50	322.50
CB-2A CB-2B	256.00	268.75	270.00

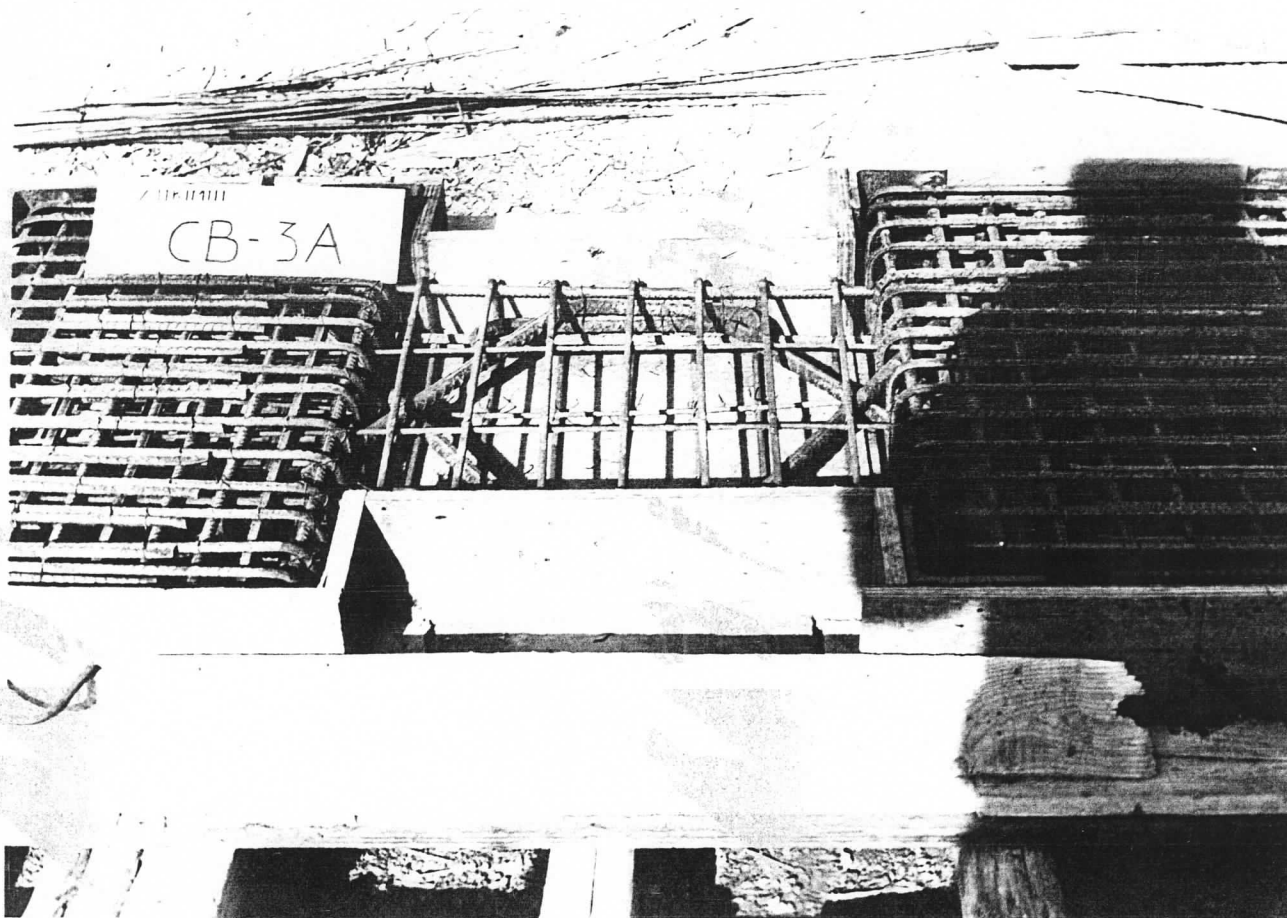
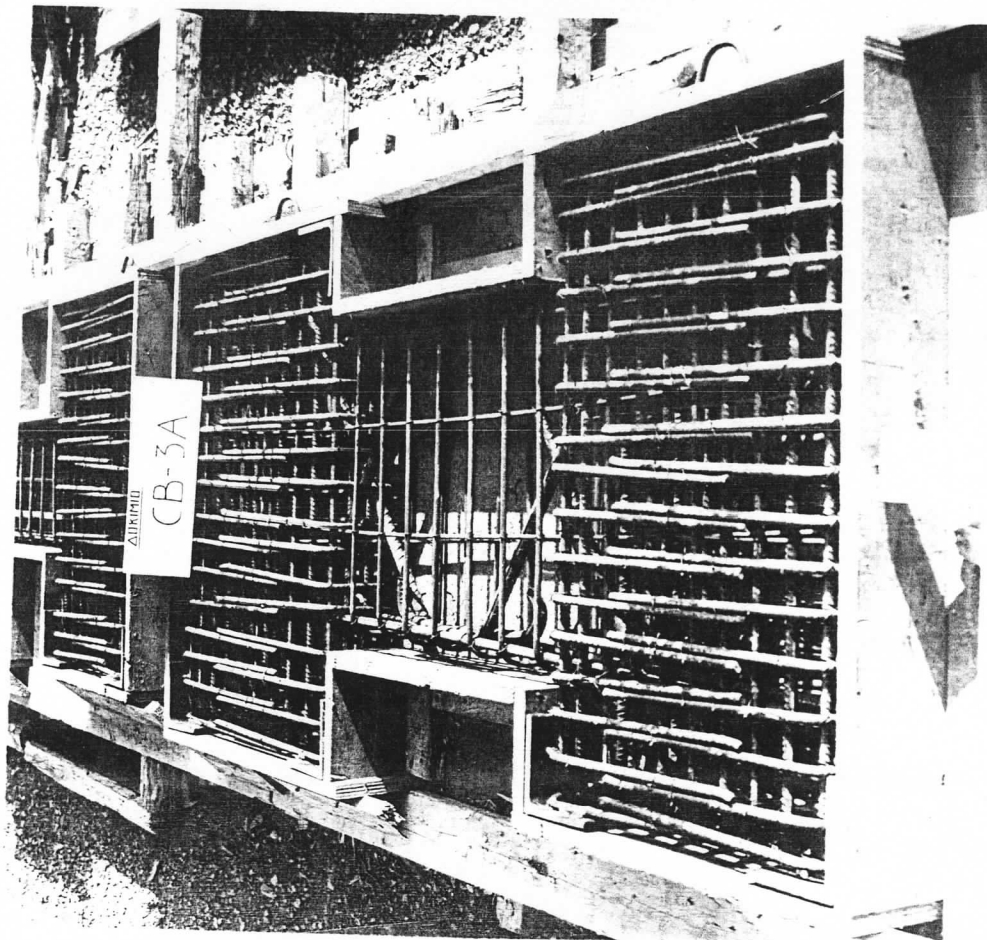
Τα δοκίμια ήταν τοποθετημένα με την "πλάτη" τους προς τα κάτω, όταν έγινε η σκυροδέτηση (βλέπε και φωτογραφίες οπλισμών).



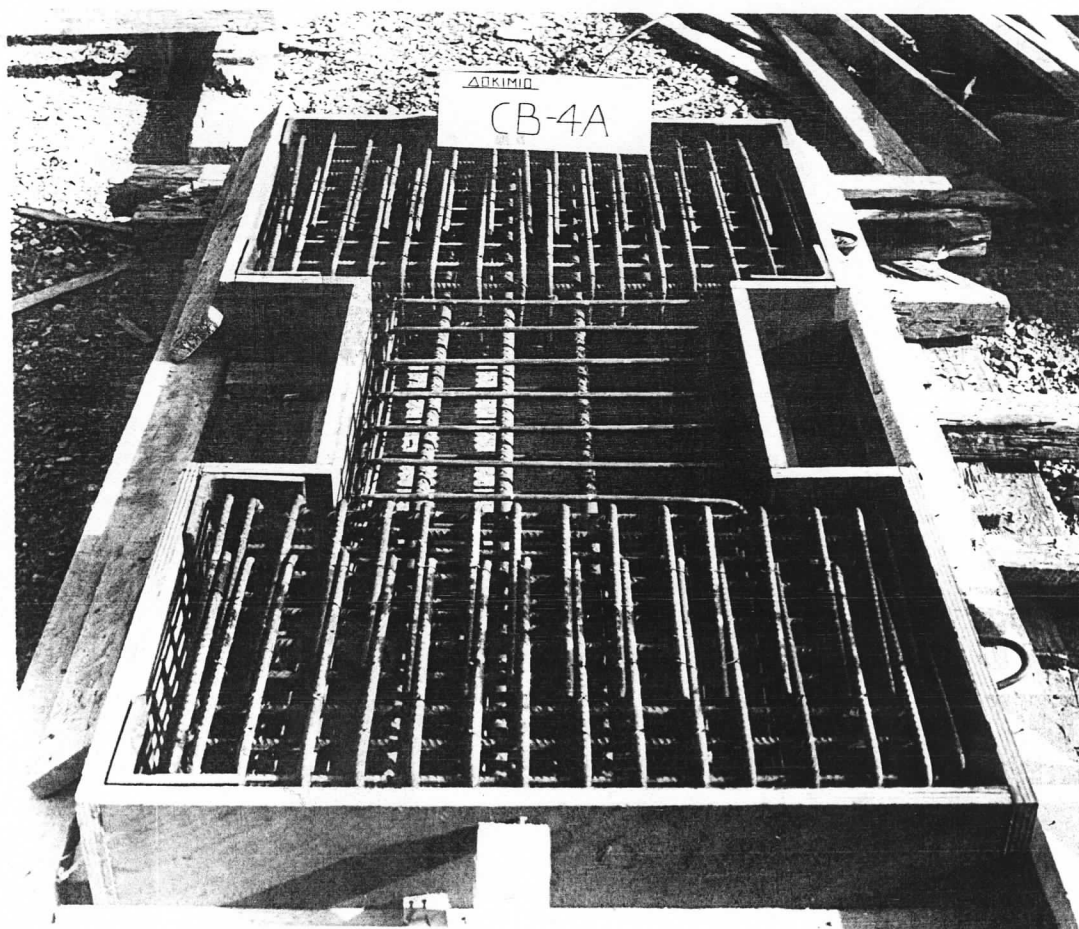
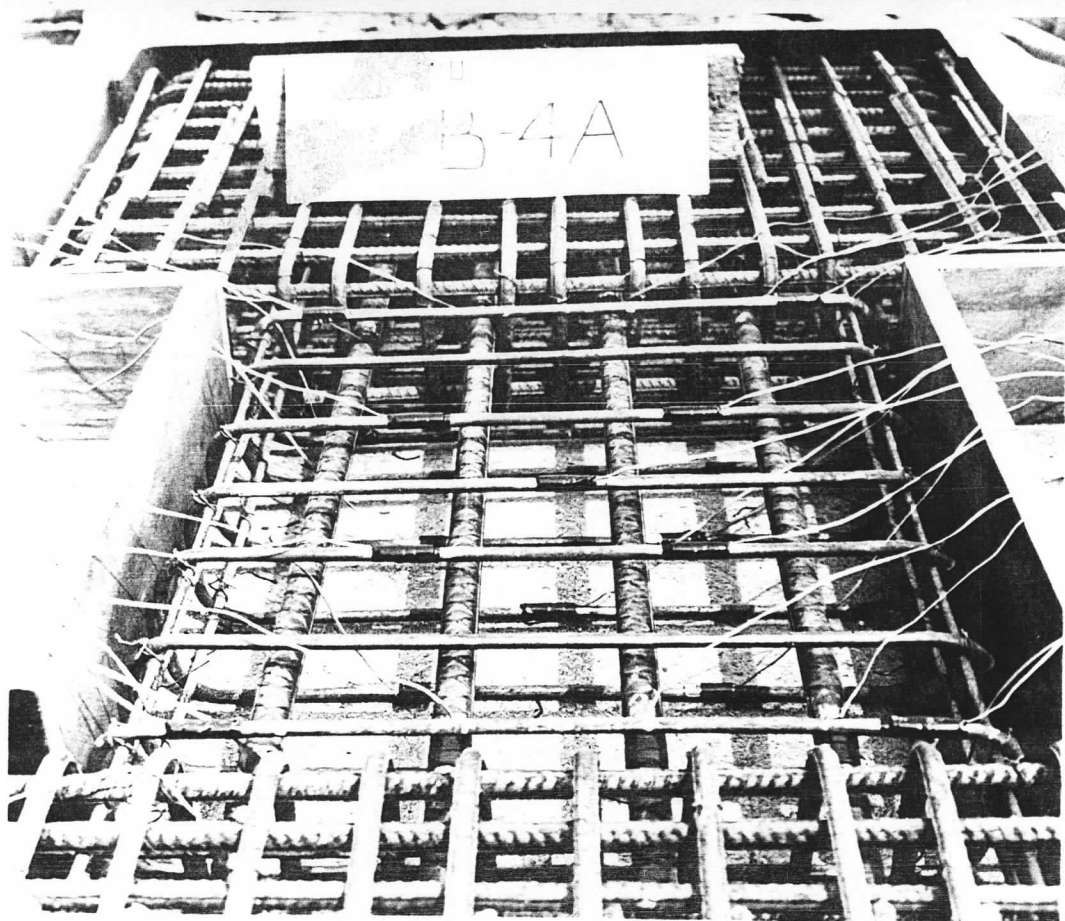
Σχ. 3.3: Οπλισμοί δοκιμών CB-1A και CB-2A



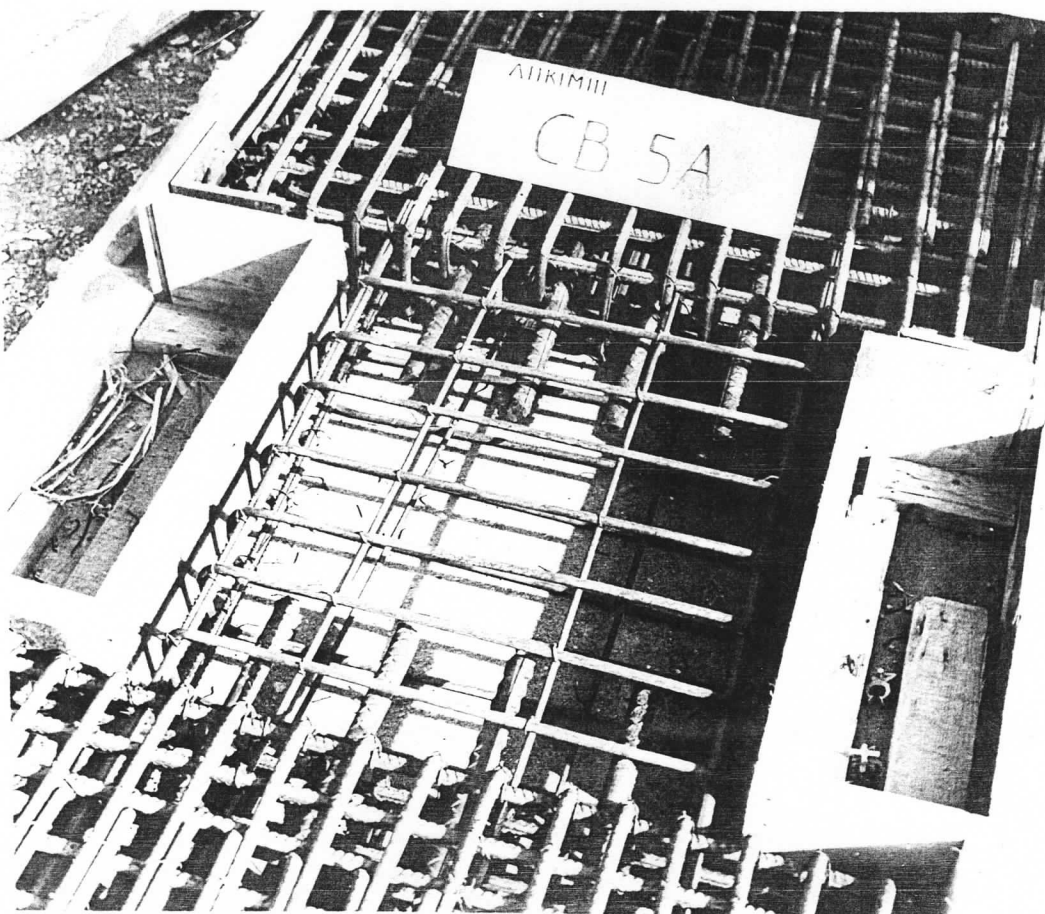
Σχ. 3.4: Λεπτομέρεια διαμόρφωσης οπλισμού στο δοκίμιο CB-2A



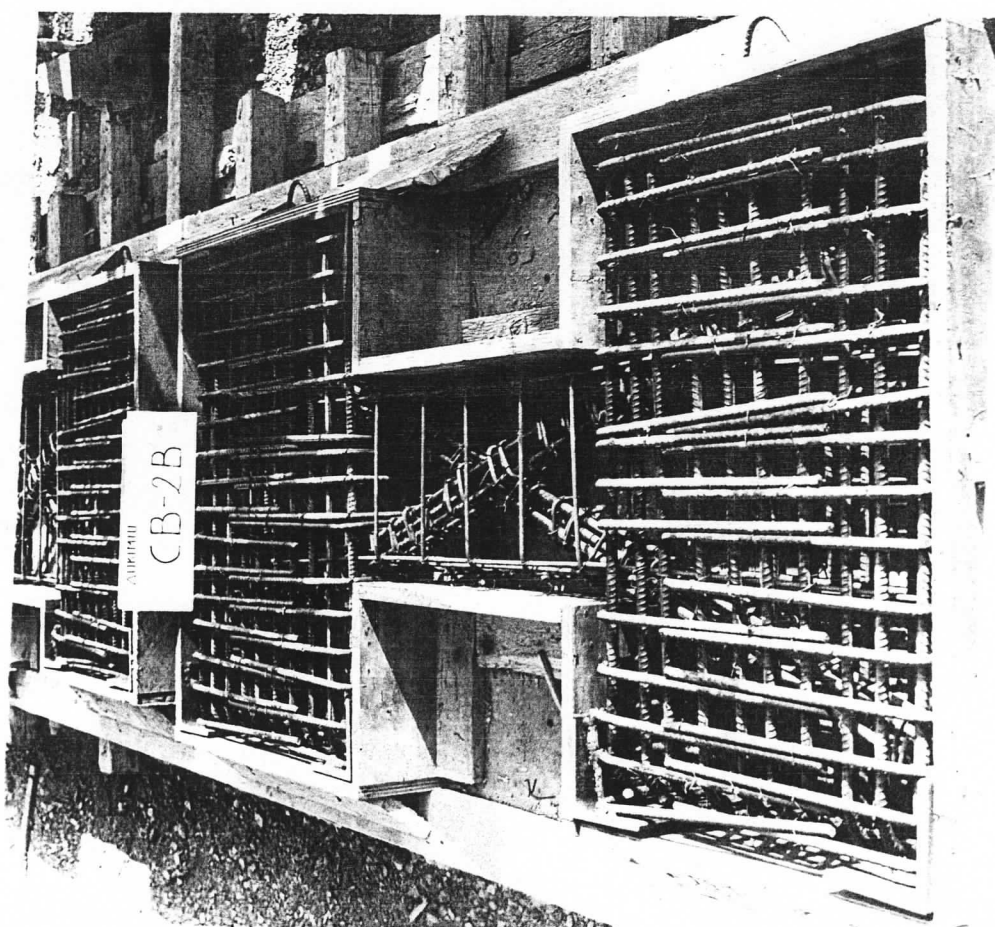
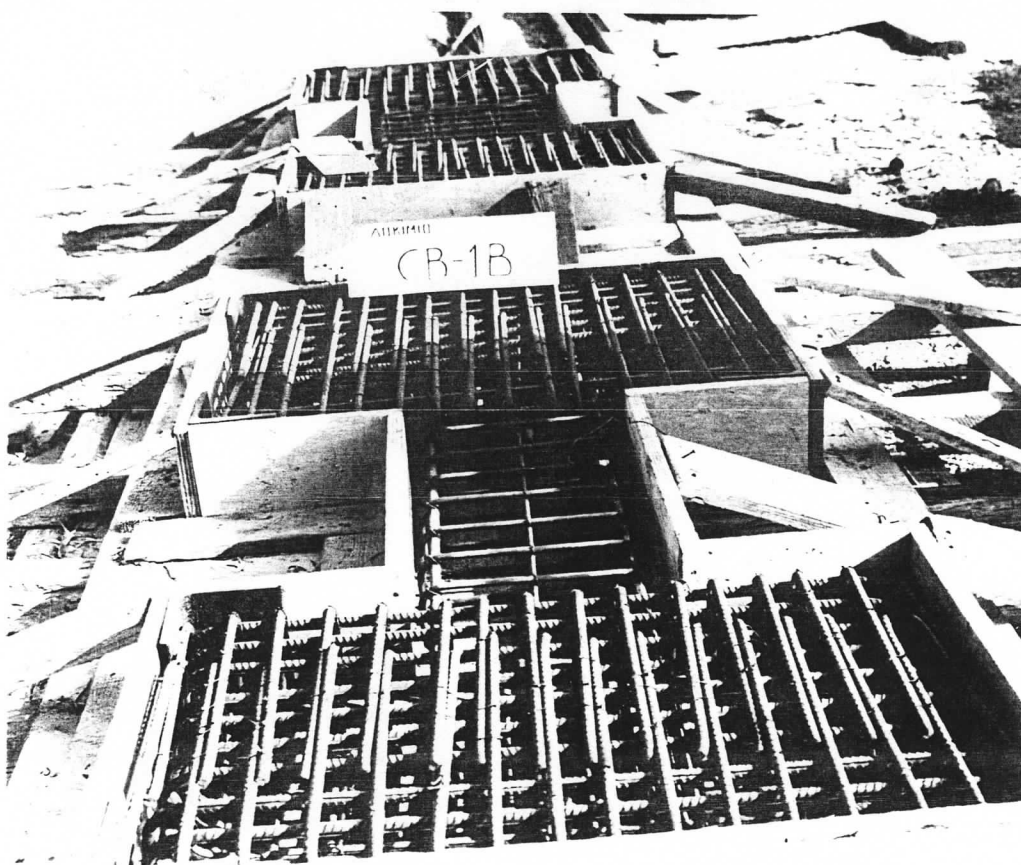
Σχ. 3.5: Οπλισμοί δοκιμίου CB-3A



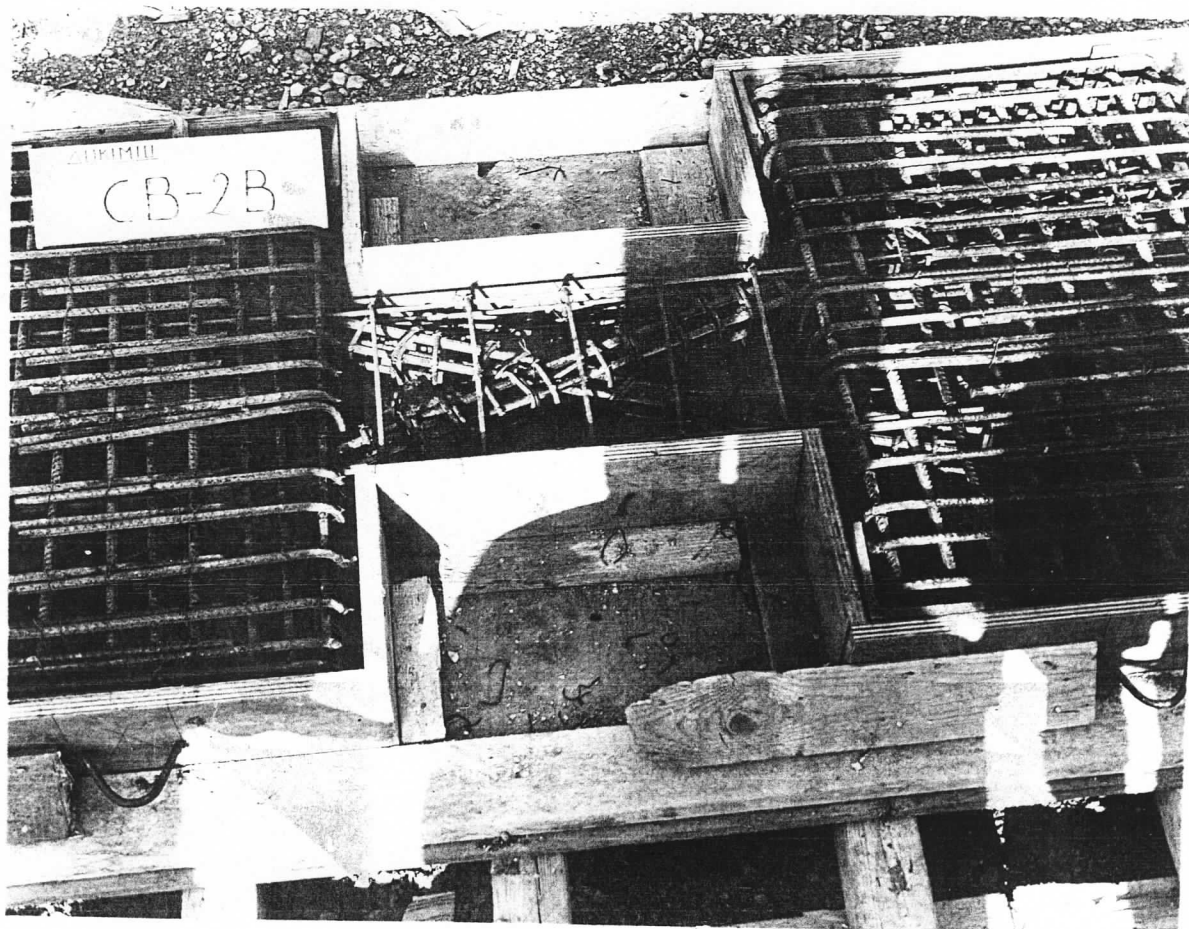
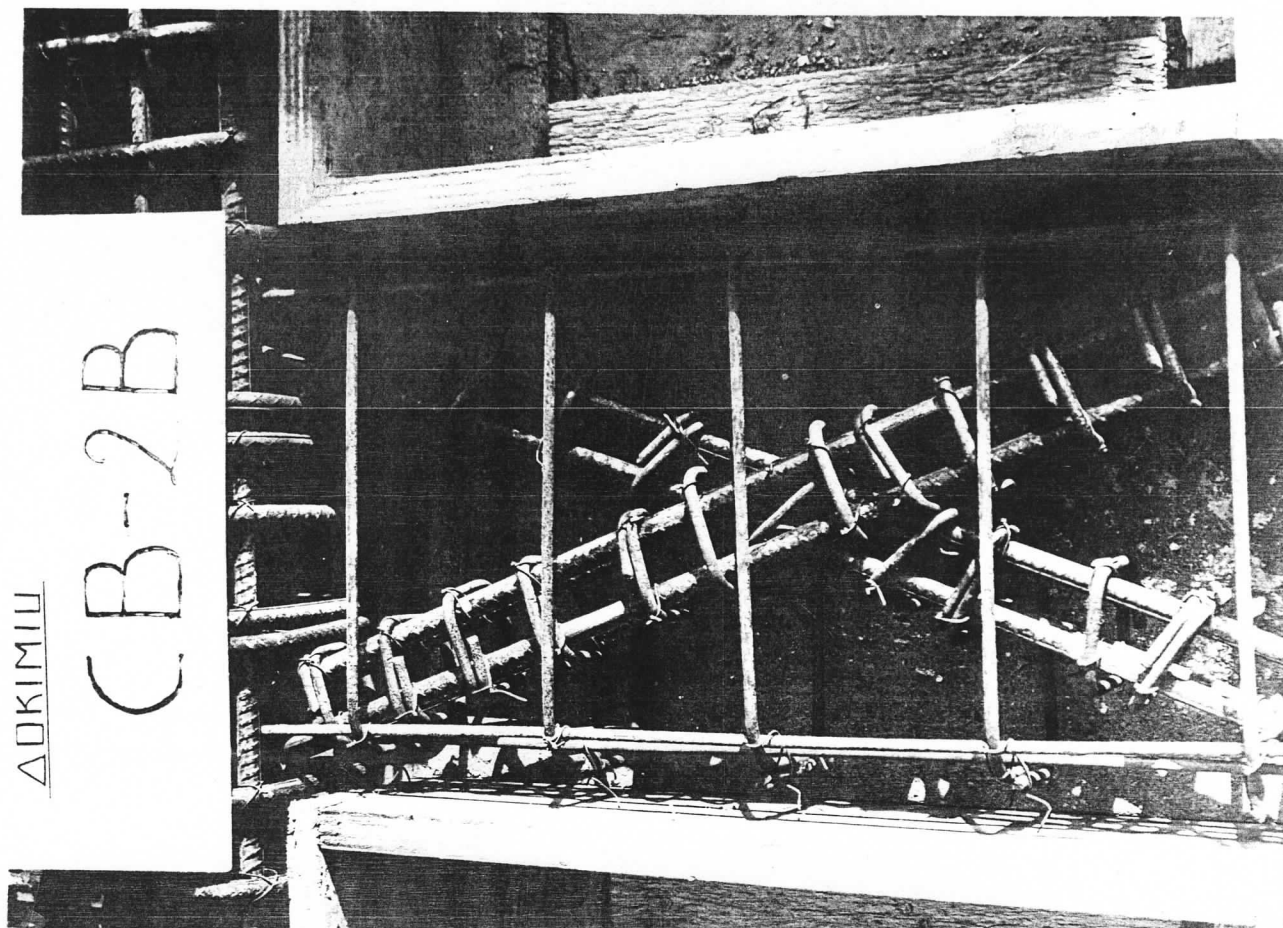
Σχ. 3.6: Οπλισμοί δοκιμίου CB-4A. Είναι εμφανή τα ηλεκτρομη-
κυνσιόμετρα που τοποθετήθηκαν στους οπλισμούς της δοκού



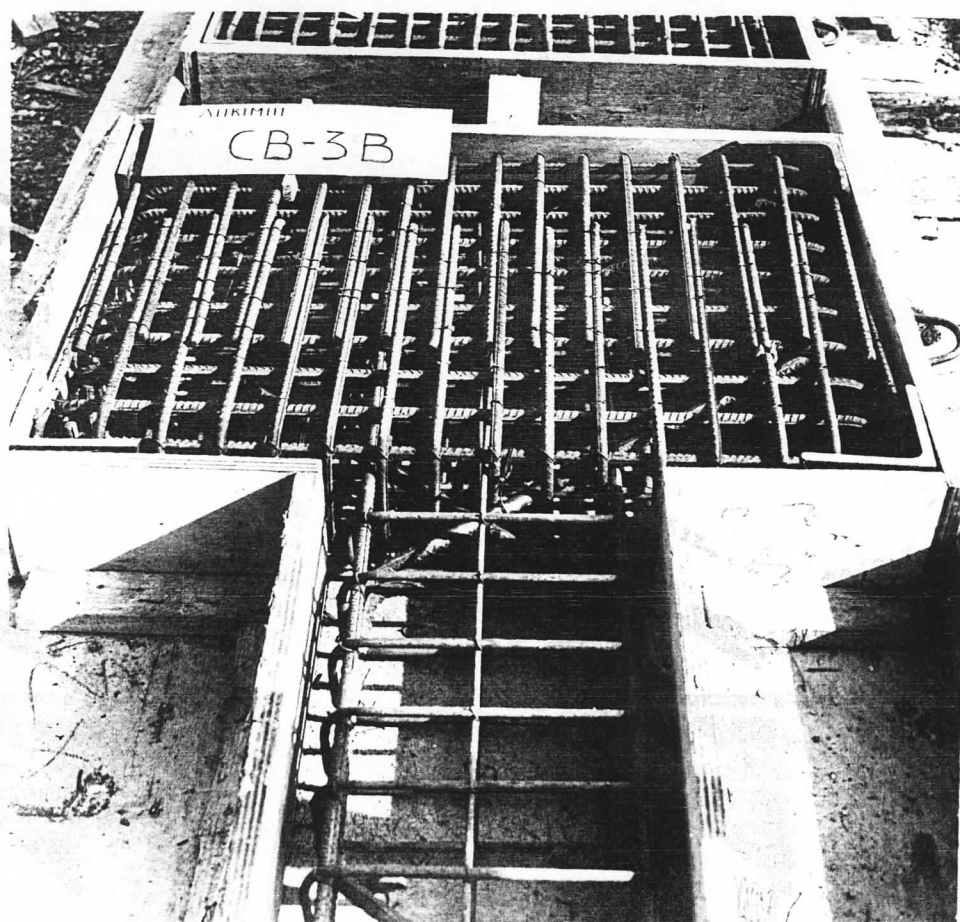
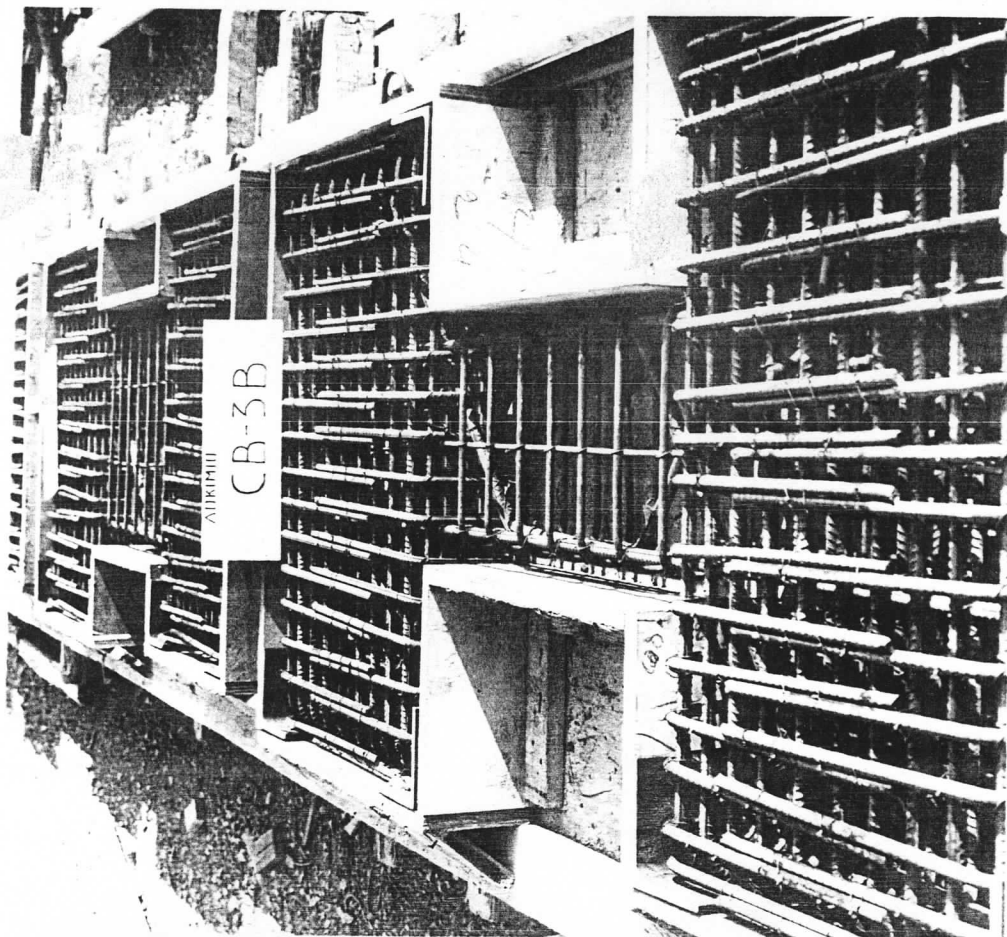
Σχ. 3.7: Οπλισμοί και ηλεκτρομηκυνσιόμετρα στο δοκίμιο CB-5A



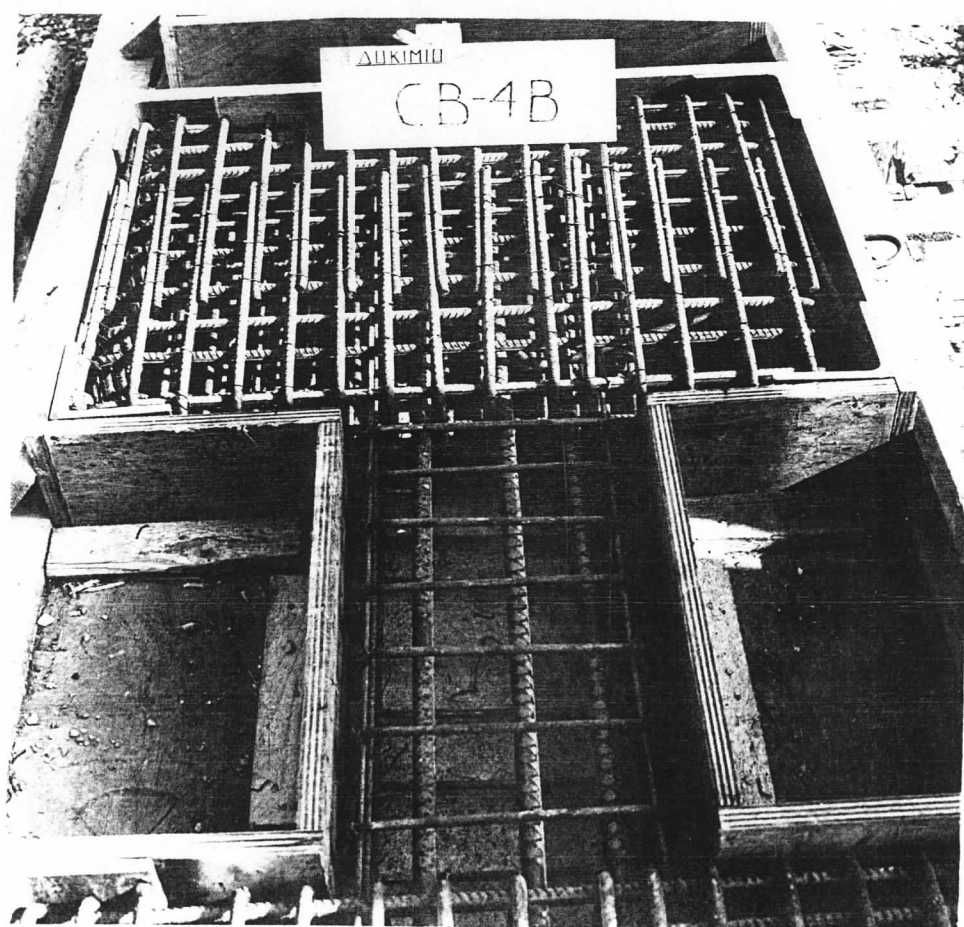
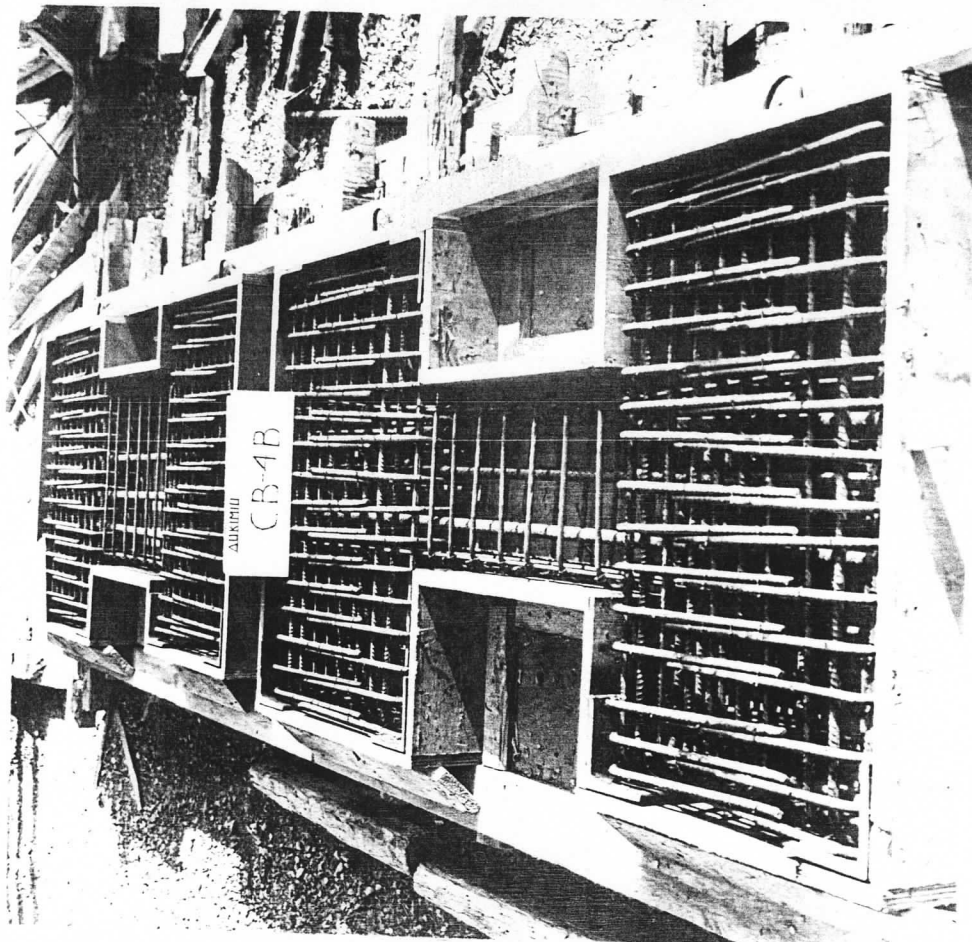
Σχ. 3.8: Οπλισμοί δοκιμίων CB-1B και CB-2B



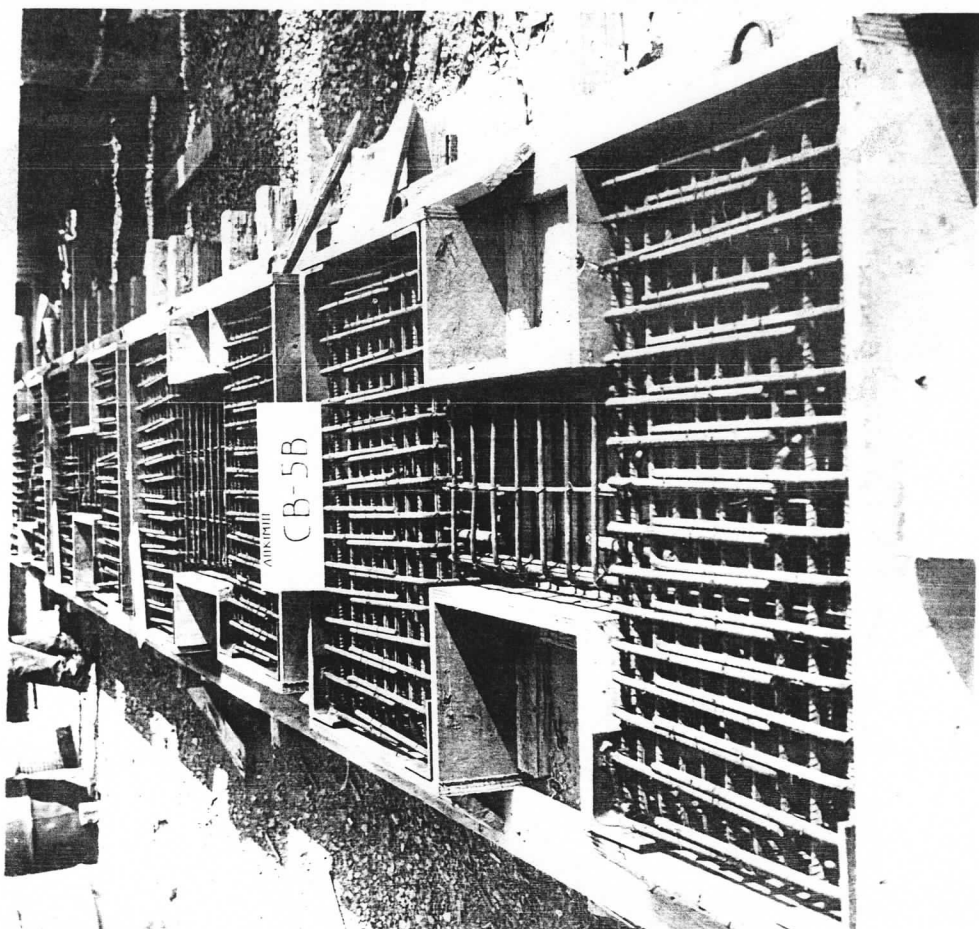
Σχ. 3.9: Λεπτομέρεια διαμόρφωσης οπλισμών στο δοκίμιο CB-2B



Σχ. 3.10: Οπλισμοί δοκιμίου CB-3B



Σχ. 3.11: Οπλισμοί δοκιμίου CB-4B



Σχ. 3.12: Οπλισμοί δοκιμίου CB-5B

3.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΣ

3.3.1. Τρόπος φορτίσεως των δοκιμών

Η επιβαλλόμενη σεισμική ένταση στις αμφίπακτες αυτές δοκούς απο τα τοιχώματα, αντιστοιχεί σε τέμνουσα και ροπή στα δύο άκρα-σημεία πακτώσεώς τους.

Τα δοκίμια των πειραμάτων πρέπει να φορτισθούν με τέτοιο τρόπο ώστε στο τμήμα που αποτελεί την δοκό συνδέσεως να εμφανισθεί ένταση ίδια με την πραγματική χωρίς παρασιτικές δράσεις εξαιτίας της πειραματικής διατάξεως.

Στα Σχ. 3.13 και Σχ. 3.14 εικονίζονται, ο τρόπος επιβολής του φορτίου στα πειράματα του Paulay και η αντίστοιχη παραμόρφωση της δοκού. Στα πειράματα που εκτελούνται στο Εργαστήριο Ω.Σ. του Ε.Μ.Π., η επιβολή της μετακίνησης αποφασίσθηκε να γίνει με διαφορετικό τρόπο (Σχ. 3.15, Σχ. 3.16).

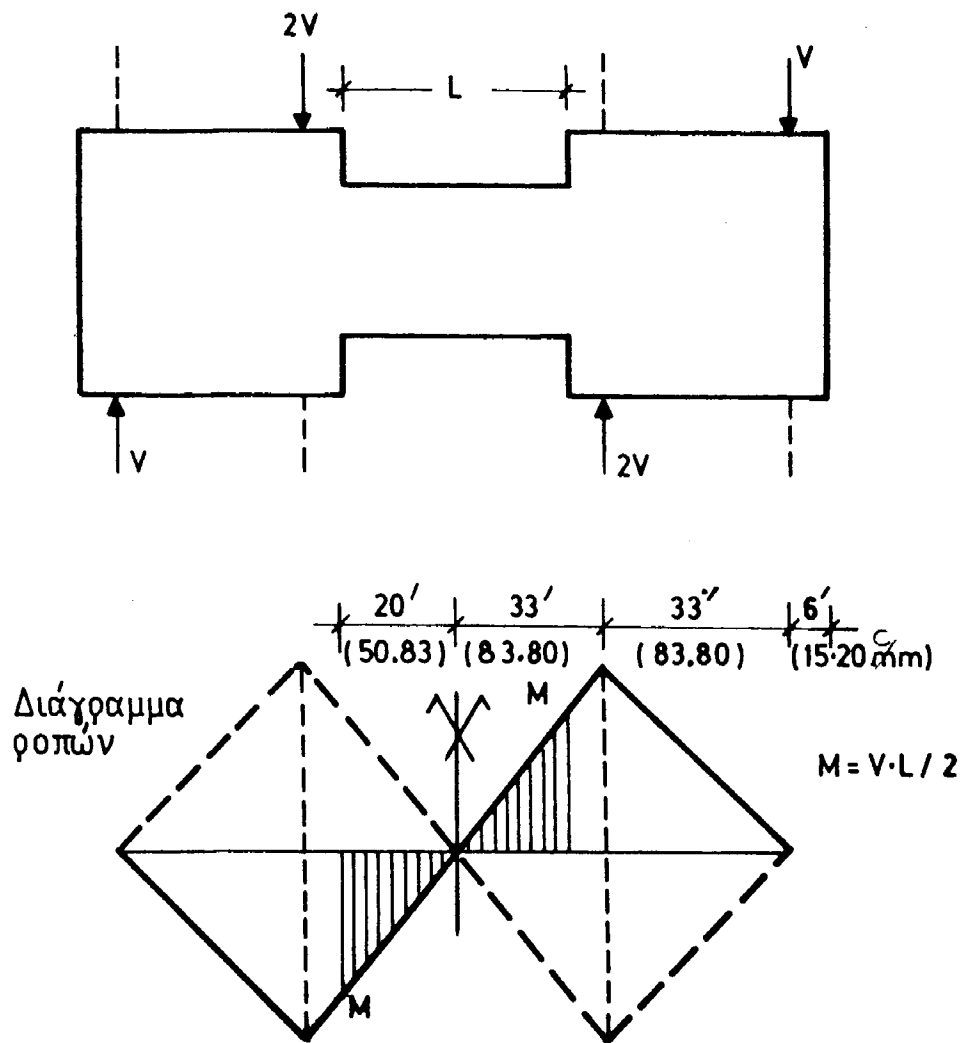
Απο τα δύο εκατέρωθεν της δοκού τοιχώματα, το αριστερό πακτώνεται ενώ το δεξιό παραμένει ελεύθερο να μετακινείται και να στρέφεται. Στο μέσον του ανοίγματος της δοκού μέσω μεταλλικής δοκού που δένεται με ντίζες πάνω στο ελεύθερα μετακινούμενο τοίχωμα, επιβάλλεται αντιστρεφόμενη ανακυκλιζόμενη μετακίνηση. Η ένταση αυτή δημιουργεί στα άκρα της δοκού τέμνουσα δύναμη V και ροπή $M = V.L/2$, που η φορά τους αντιστρέφεται, όταν αντιστρέφεται η φορά της επιβαλλόμενης μετατοπίσεως.

3.3.2. Περιγραφή πειραματικής διατάξεως

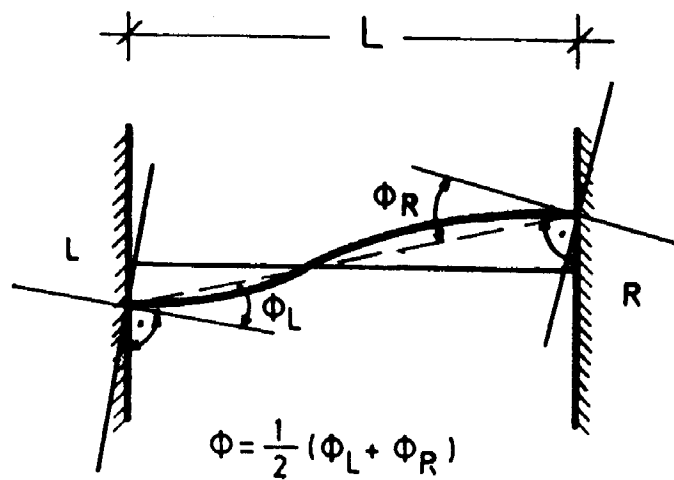
Η πειραματική διάταξη φαίνεται στις φωτογραφίες των Σχ. 3.17 έως 3.20. Παρουσιάζεται επίσης σχηματικά στο Σχ. 3.22. Για την μείωση τόσο του χρόνου όσο και του κόστους κατασκευής ενός νέου μεταλλικού πλαισίου για την φόρτιση των δοκιμών, χρησιμοποιήθηκε το κλειστό μεταλλικό πλαίσιο "Α" (Σχ. 3.17 και Σχ. 3.18) που υπάρχει ήδη στο Εργαστήριο.

Το δοκίμιο "Β" (Σχ. 3.17, 3.18, 3.19) τοποθετείται στην συσκευή με τέτοιο τρόπο ώστε το τοίχωμα "Β1" (Σχ. 3.17, 3.19) να πακτώνεται, ενώ το τοίχωμα "Β2" να παραμένει ελεύθερο. Η πάκτωση πραγματοποιείται με την βοήθεια δύο άκαμπτων μεταλλικών πλακών "Γ" (Σχ. 3.17) και του υδραυλικού γρύλλου "Ζ" (Σχ. 3.20) ο οποίος ασκεί φορτίο στο τοίχωμα "Β1".

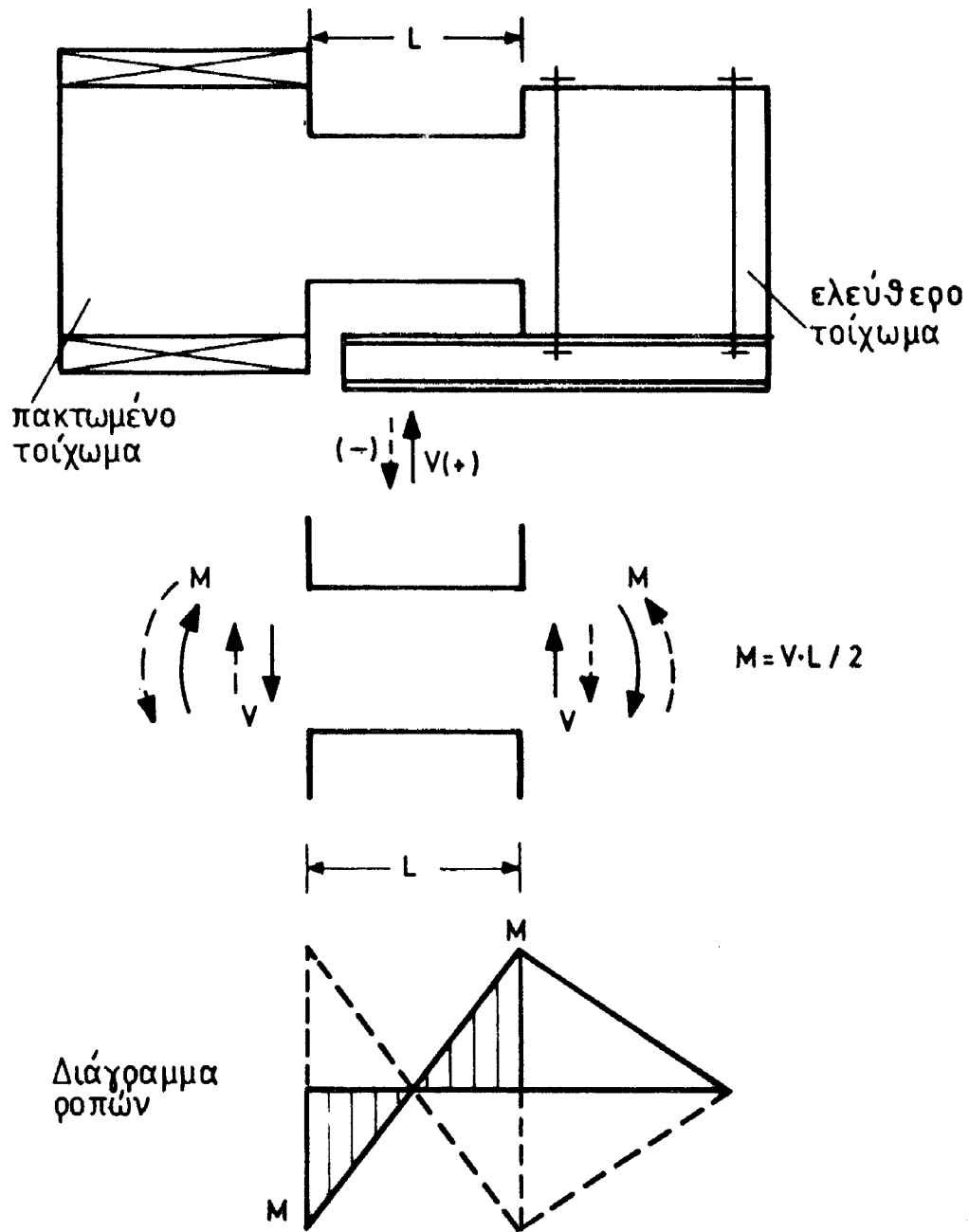
ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ PAULAY



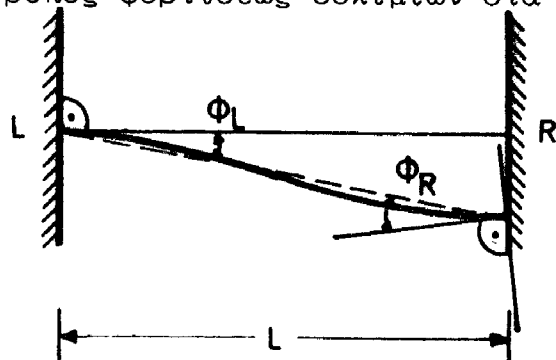
Σχ. 3.13: Τρόπος φορτίσεως δοκιμίων στα πειράματα του Paulay



Σχ. 3.14: Παραμόρφωση της δοκού συνδέσεως στα πειράματα Paulay



Σχ. 3.15 Τρόπος φορτίσεως δοκιμών στα πειράματα Ε.Μ.Π.



Σχ. 3.16: Παραμόρφωση της δοκού συνδέσεως στα πειράματα Ε.Μ.Π.

Η μετακίνηση επιβάλλεται στο μέσον της δοκού μέσω του σερβο-μηχανισμού "Ε" (Σχ. 3.20). Η μετακίνηση δεν ασκείται απ' ευθείας στο σώμα του δοκιμίου αλλά στην μεταλλική δοκό "Δ" διατομής διπλού ταύ (Σχ. 3.17-3.19).

Η κεφαλή του γρύλλου "Ε" δένεται πάνω στην μεταλλική δοκό - η οποία έχει κατάλληλα ενισχυθεί - μέσω της διατάξεως του Σχ.3.19. Η μεταλλική σφαίρα μικρής διαμέτρου που παρεμβάλλεται μεταξύ του άνω πέλματος της δοκού και της μεταλλικής πλάκας "Μ" (Σχ. 3.19), εξασφαλίζει σημειακή άσκηση του φορτίου.

Τέσσερεις υψηλής αντοχής λείες ράβδοι "Ν" διαμέτρου 30 mm (Σχ. 3.17), δένουν την μεταλλική δοκό "Δ" πάνω στο ελεύθερο τοίχωμα "Β2" του δοκιμίου.

Δύο μεταλλικά ελάσματα "Γ1" τοποθετούνται στις παρειές του δοκιμίου και πακτώνονται στο εξωτερικό πλαίσιο στηρίξεως (Σχ. 3.17). Σκοπός των ελασμάτων είναι να αποτρέψουν ενδεχόμενες μετακινήσεις του δοκιμίου κάθετες προς το επίπεδό του, οι οποίες μπορεί να εμφανισθούν λόγω αθέλητων εκκεντροτήτων κατά την επιβολή της μετακινήσεως.

Ο γρύλλος "Ε" πακτώνεται στο κάτω τμήμα του κλειστού πλαισίου "Η" (Σχ. 3.20). Η πάκτωση είναι αναγκαία για την επιβολή ανακυκλιζόμενης μετακίνησης (αντιστρεφόμενης φοράς) μέσω του γρύλλου.

Κατά την διάρκεια της δοκιμής λαμβάνονται εκτός των μετρήσεων των μηχανοσιόμετρων και οι ακόλουθες μετρήσεις (βλ. Σχ. 3.21):

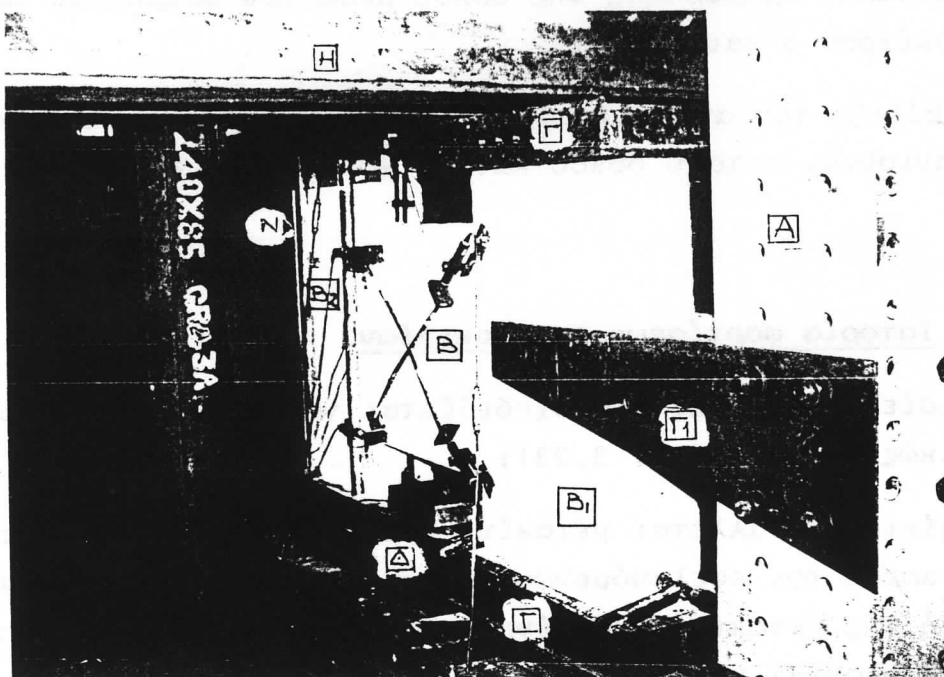
- α) Η κατακόρυφη μετακίνηση του ελεύθερου άκρου της δοκού συζεύξεως μέσω του επαγωγικού βελομέτρου 5.
- β) Η κατακόρυφη μετακίνηση του άκρου του ελεύθερου τοιχώματος μέσω του βελομέτρου 6. Η διαφορά των ενδείξεων των δύο βελομέτρων διαιρεμένη δια της αποστάσεώς τους δίνει την στροφή του άκρου της δοκού.
- γ) Η οριζόντια μετακίνηση του άνω και του κάτω άκρου του ελεύθερου τοιχώματος (βελόμετρα 9+10). Μέσω και αυτών των μετρήσεων υπολογίζεται η στροφή της δοκού.
- δ) Οι σχετικές ολισθήσεις μεταξύ των άκρων της δοκού και των τοιχωμάτων (βελόμετρα 1+2).

- ε) Η γωνιακή παραμόρφωση της δοκού μέσω των μετρήσεων των βελομέτρων 3 και 4.
- στ) Η εξέλιξη του ανοίγματος των ρωγμών που αναμένεται να εμφανισθούν μεταξύ δοκού και τοιχωμάτων (βελόμετρα 7 και 8).

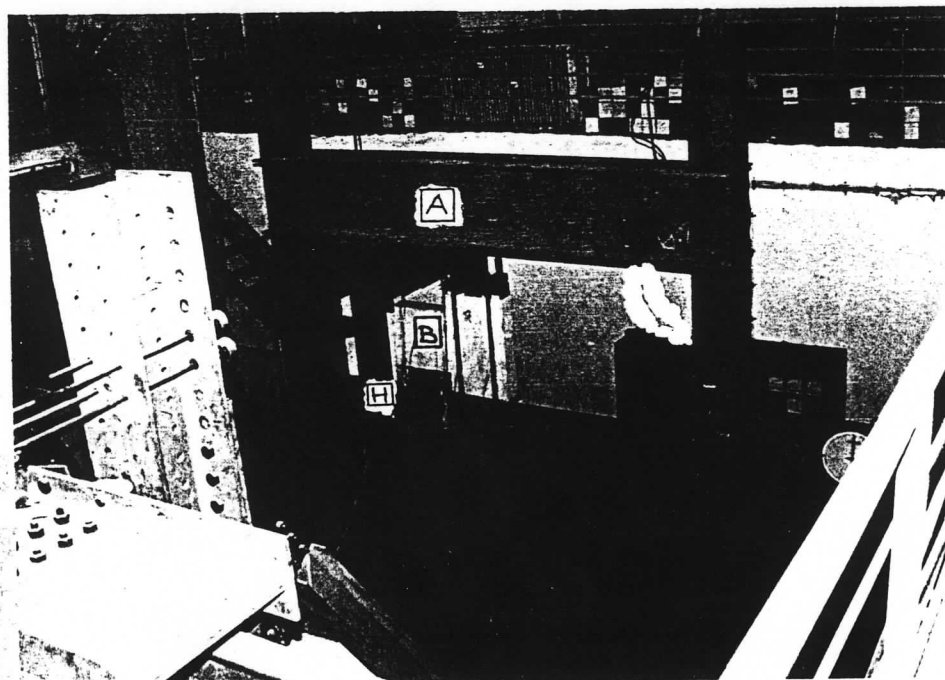
3.3.3. Ιστορία φορτίσεως των δοκιμών

Οι ιστορίες φορτίσεως που σχεδιάζεται να επιβληθούν έχουν σχηματικώς ως εξής (Σχ. 3.23):

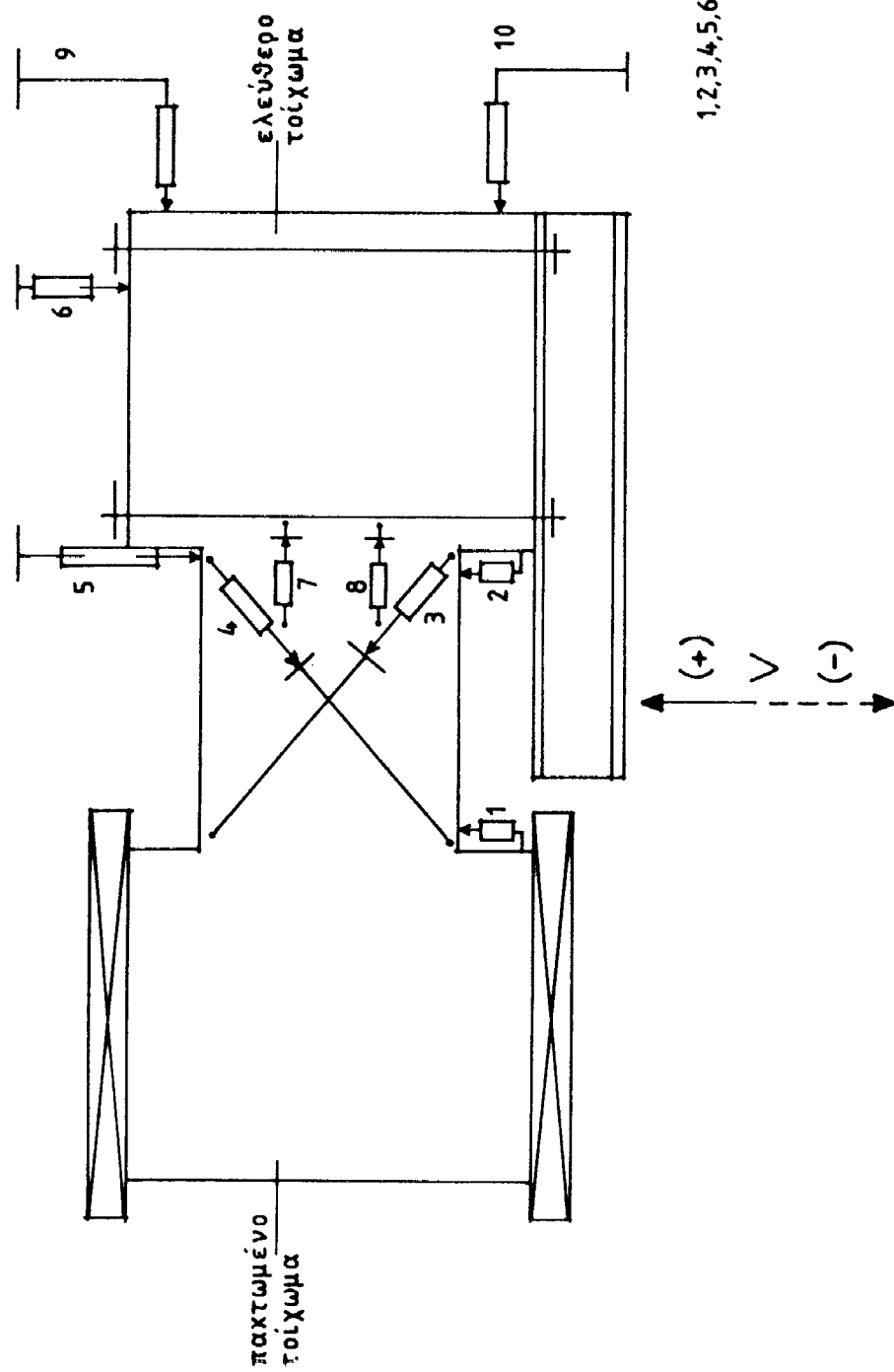
Στο δοκίμιο επιβάλλεται μετακίνηση δ_1 η οποία αντιστοιχεί στην διαρροή των εφελκυσόμενων οπλισμών της δοκού. Απο αυτήν την τιμή της μετακινήσεως γίνεται αποφόρτιση του δοκιμίου και επιβάλλονται μετακινήσεις κατά την αντίθετη φορά και μέχρι τιμής ίσης με δ_1 . Γίνονται τρεις πλήρεις ανακυκλίσεις μετακινήσεως $(+\delta_1, -\delta_1)$. Ακολούθως, επιβάλλεται μεγαλύτερη μετακίνηση μέχρι τιμής $\delta_2 = 2\delta_1$, και γίνονται τρεις πλήρεις ανακυκλίσεις μετακινήσεως για επιβαλλόμενη πλαστιμότητα ίση με δύο $(+2\delta_1, -2\delta_1)$. Ομοίως, τρεις πλήρεις ανακυκλίσεις επιβάλλονται και για επιβαλλόμενη πλαστιμότητα ίση με 3 $(+3\delta_1, -3\delta_1)$. Τέλος η μετακίνηση αυξάνεται μονοτονικά μέχρι πρακτικά μηδενική απόκριση της δοκού.



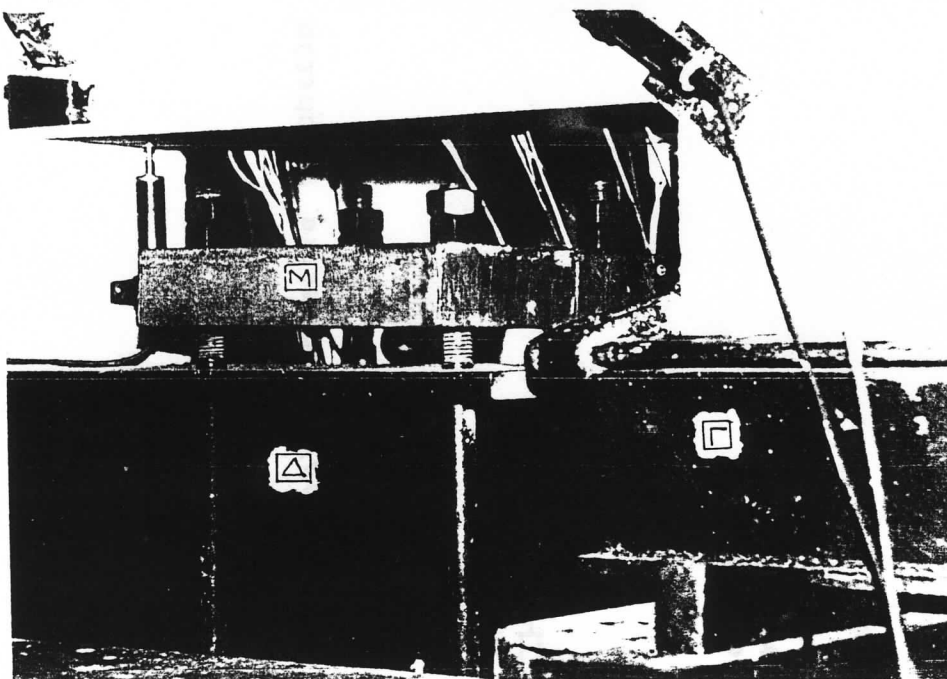
Σχ. 3.17: Λεπτομέρεια της πειραματικής διατάξεως



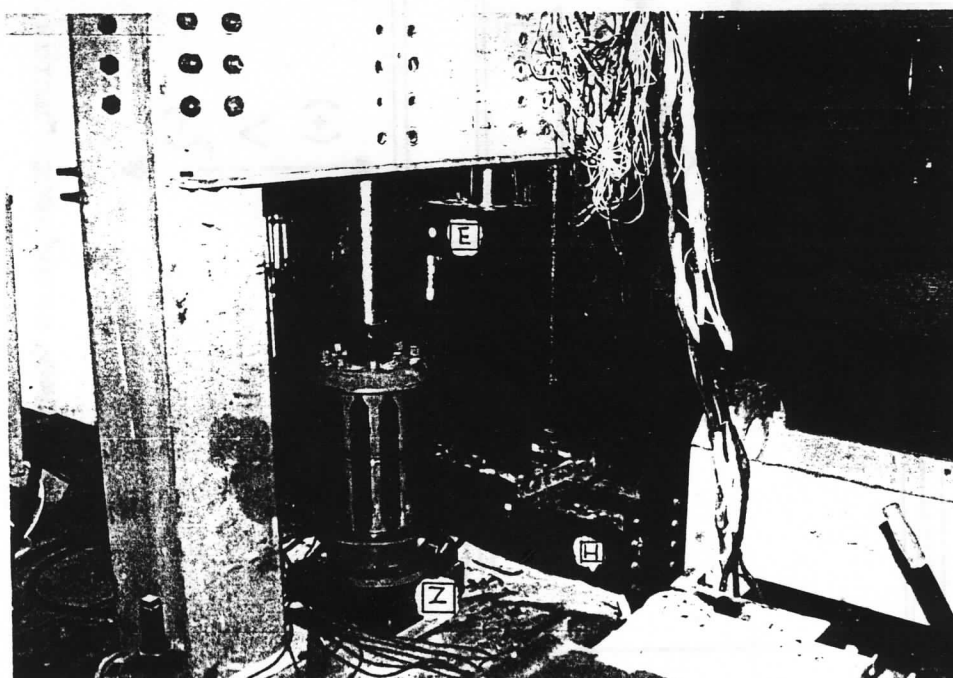
Σχ. 3.18: Γενική άποψη της πειραματικής διατάξεως



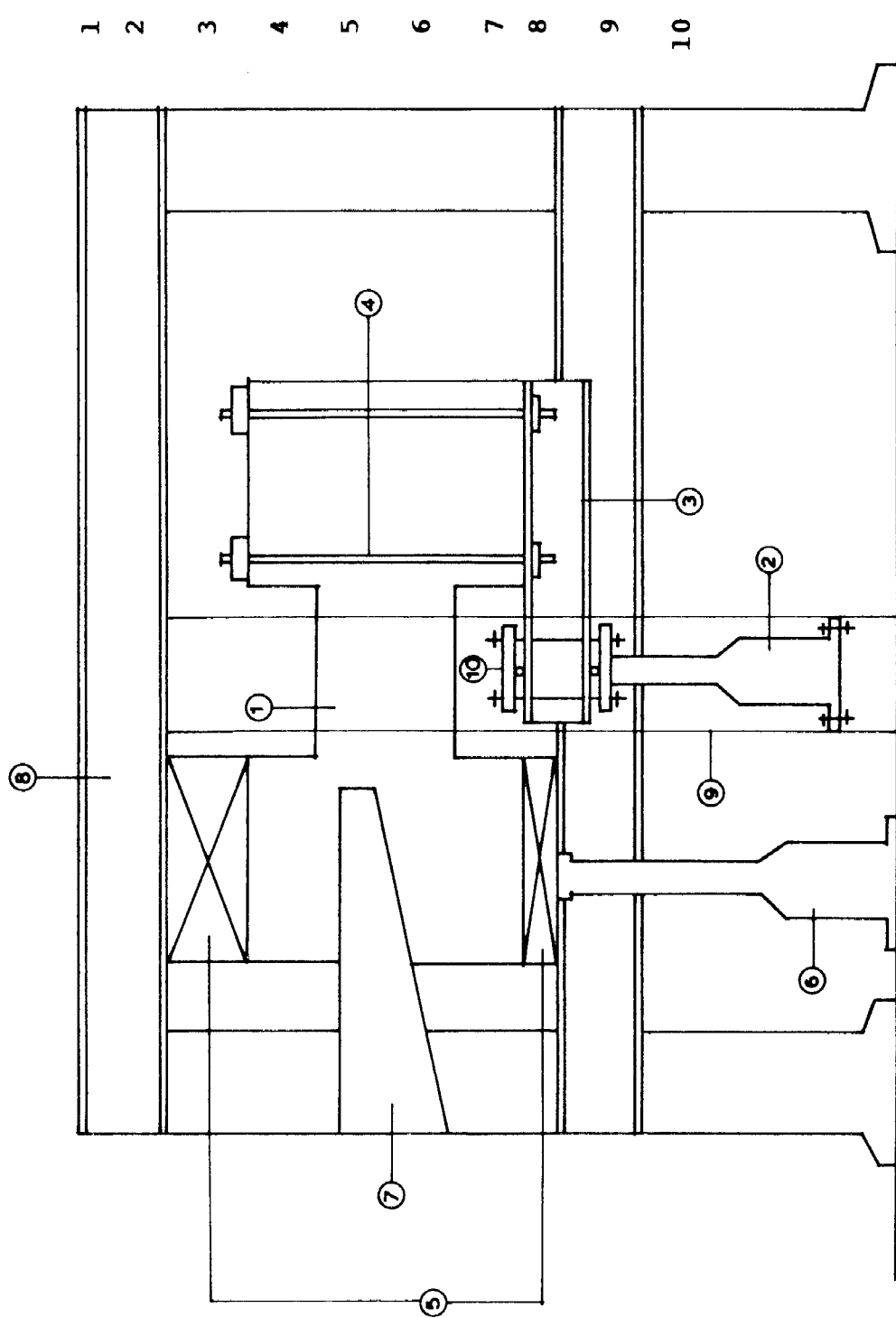
Σχ. 3.21 θέσεις οργάνων μετρήσεως "μετακινήσεων" και "σχετικών ολισθήσεων"



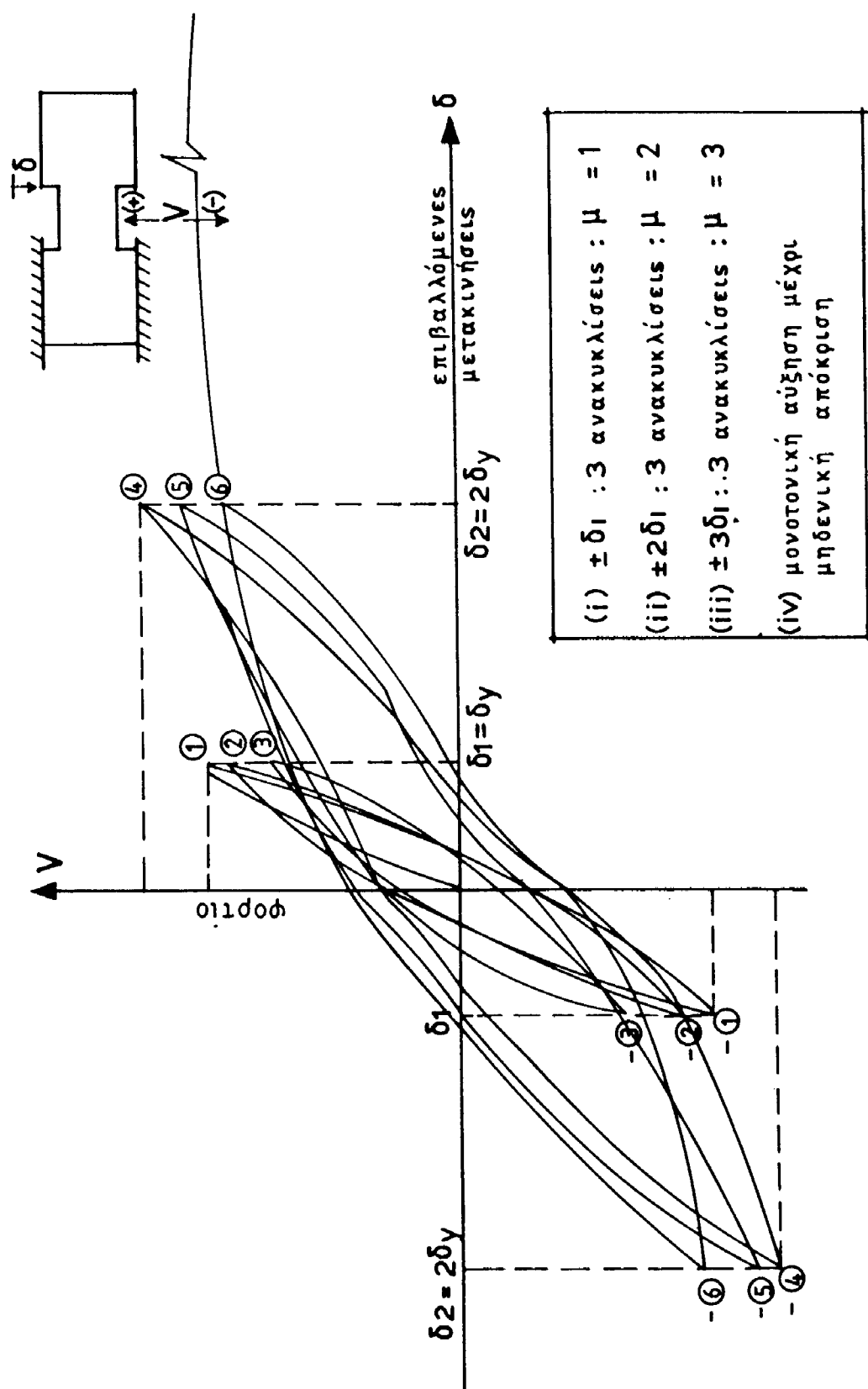
Σχ. 3.19: Διάταξη μέσω της οποίας το ανακυκλιζόμενο φορτίο ασκείται στην μεταλλική δοκό



Σχ. 3.20: Υδραυλικοί γρύλλοι "E" και "Z"



ΣΧ. 3.22 Σχηματική παρουσίαση της πειραματικής διατάξεως



Σχ. 3.2 Σχηματική παρουσίαση ιστορίας φορτίσεως στην περίπτωση ανακυκλιζόμενης επιβαλλόμενης μετακινήσεως

4.- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

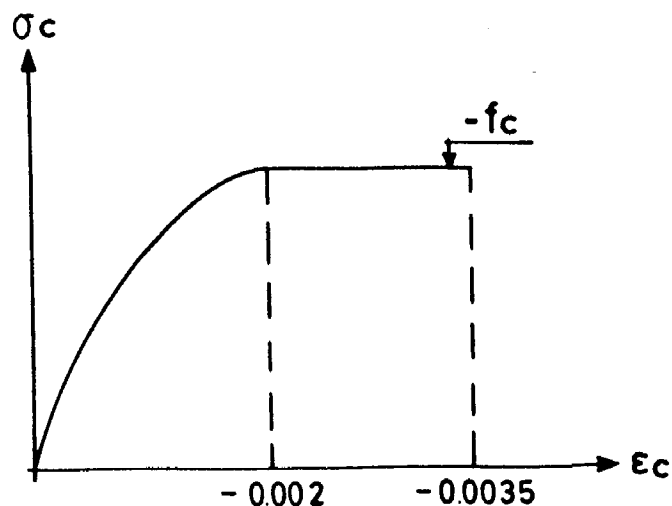
4.1. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Δίνονται στην συνέχεια οι κυριότεροι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται και βασίζονται, κατά κανόνα, στις σχετικές υποδείξεις του CEB (που έχουν υιοθετηθεί και από το Προσχέδιο του Νέου Ελληνικού Κανονισμού Σκυροδέματος).

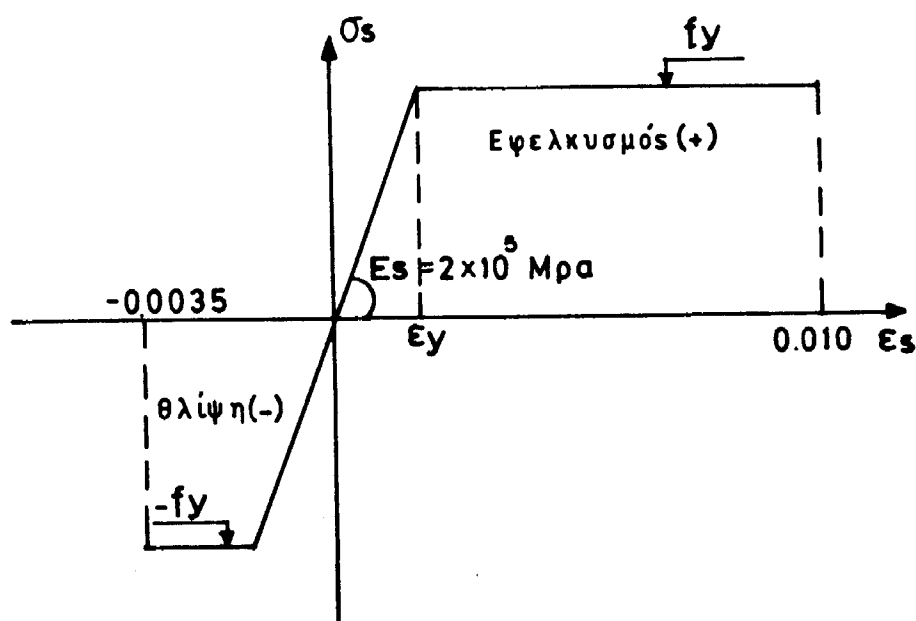
f_{ck}	=	χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη
f_y	=	όριο διαρροής χάλυβα
f_{yw}	=	όριο διαρροής χάλυβα συνδετήρων
A_{s1}	=	επιφάνεια εφελκυσμένου οπλισμού
A_{s2}	=	επιφάνεια θλιβόμενου οπλισμού
A_{sw}	=	επιφάνεια συνδετήρα
ϵ_c, ϵ_s	=	παραμορφώσεις σκυροδέματος και χάλυβα, αντίστοιχα
x	=	βάθος ουδετέρας γραμμής
F_s	=	εφελκυστική δύναμη στον χάλυβα
F_c	=	θλιπτική δύναμη στο σκυρόδεμα
l, h	=	μήκος και ύψος της δοκού συνδέσεως, αντίστοιχα
b, d	=	πλάτος και στατικό ύψος διατομής, αντίστοιχα
V_c	=	τέμνουσα που παραλαμβάνεται από το θλιβόμενο πέλμα και τους άλλους μηχανισμούς αναλήψως τέμνουσας
V_w	=	τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τους συνδετήρες
V_{RD}	=	διατμητική αντοχή λόγω δράσεων βλήτρου
V_{Ru}	=	συνολική αντοχή της διατομής σε τέμνουσα
M_{Ru}	=	αντοχή της διατομής σε κάμψη
s	=	απόσταση μεταξύ οπλισμών διάτμησης
τ_R	=	τάση αντοχής σε τέμνουσα
S_s	=	διατμητική ολίσθηση διεπιφάνειας
τ_{fr}	=	διατμητική τάση λόγω τριβών
V_{RF}	=	διατμητική αντοχή διεπιφάνειας λόγω τριβών
d_b	=	διάμετρος βλήτρου
l_b	=	μήκος της ράβδου-βλήτρου

4.2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- 1.- Για το σκυρόδεμα και τον χάλυβα γίνονται δεκτά τα κατωτέρω ιδεατά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων (Σχ. 4.1, Σχ. 4.2).



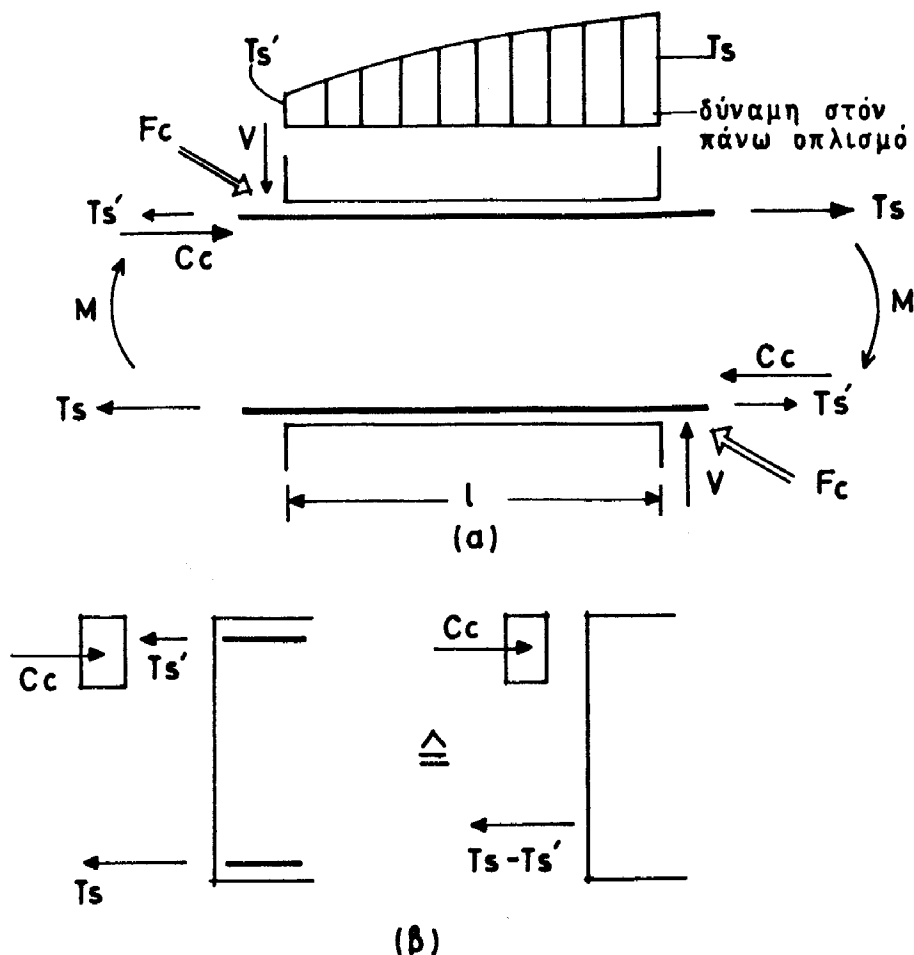
Σχ. 4.1: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος σε θλίψη



Σχ. 4.2: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα σε εφελκυσμό/θλίψη

- 2.- Πειραματικές μετρήσεις και σχετική θεωρητική ανάλυση δείχνουν ότι στις υψίσκορμες αυτές δοκούς μετά την εμφάνιση διαγώνιων ρωγμών ο διαμήκης οπλισμός εφελκύεται σε όλο το μήκος του ανοίγματός τους. Εφελκυσμοί εμφανίζονται ακόμη και στην ζώνη όπου θεωρητικά θα έπρεπε να υπάρχει θλίψη. Το φαινόμενο παρατηρείται στους οπλισμούς τόσο της άνω όσο και της κάτω παρειάς της δοκού (Σχ. 4.3(α))

Η ροπή αντοχής της διατομής δεν μπορεί επομένως να προσδιορισθεί με την διαδικασία που εφαρμόζεται στις διπλά οπλισμένες διατομές σκυροδέματος.



Σχ. 4.3

Όπως φαίνεται στο Σχ. 4.3(β), ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων είναι μικρότερος από εκείνον που θα αναμενόταν σε μία συμβατική δοκό. Πράγματι, οι παρατηρηθείσες ροπές αντοχής σε δοκούς αυτού του είδους, ήσαν πάντοτε μικρότερες από τις θεωρητικά αναμενόμενες.

Παρά ταύτα οι ροπές αντοχής των δοκιμών αυτού εδώ του προγράμματος, υπολογίσθηκαν όπως στις κανονικά οπλισμένες δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα, για τους παρακάτω λόγους:

- Η τιμή T_s' δεν είναι μεγάλη (ενίοτε δε είναι και ελαφρώς θλιπτική).
- Η ακριβής τιμή της T_s' εξαρτάται πολύ από την ακριβή μορφή της λοξής ρηγματώσεως που τελικά θα πραγματοποιηθεί σε κάθε περίπτωση.

Ενώπιον αυτής της σχετικής απροσδιοριστίας, στην αρχική αυτή φάση σχεδιασμού των δοκιμών δεν ελήφθη υπόψη η παραπάνω μείωση μοχλοβραχίονα. Πάντως, οι συνέπειες αυτής της προσεγγίσεως ήσαν συγκριτικώς ίσες για όλα τα δοκίμια.

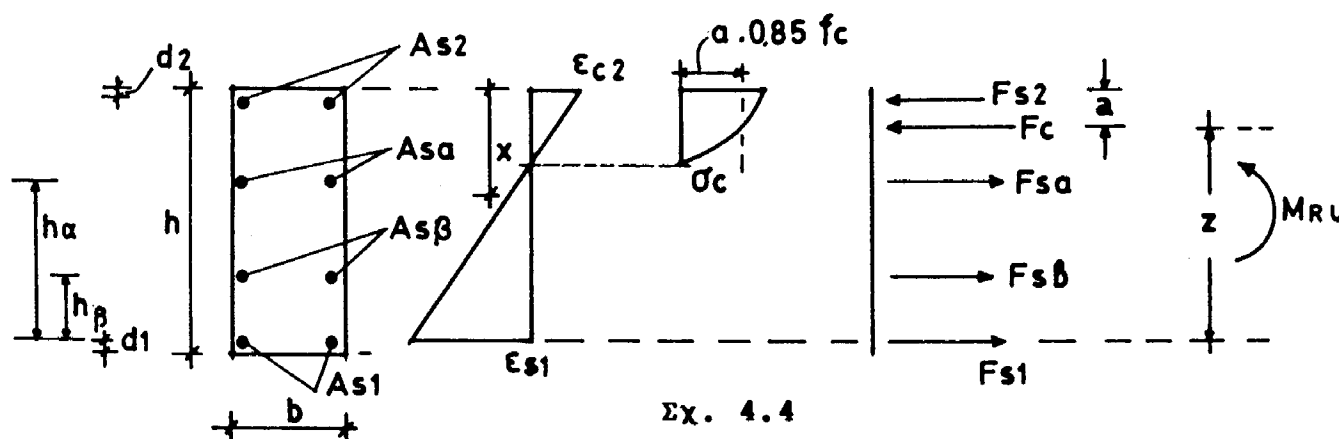
- 3.- Ο σχεδιασμός των δοκιμών έγινε έτσι ώστε οι ονομαστικές τιμές των μέγιστων διατμητικών τάσεων που αναμένεται να αναπτυχθούν στις δοκούς να βρίσκονται γύρω στο $0,55\sqrt{f_c}$ (MPa) $> 0,3\sqrt{f_c}$. Έτσι, η επιρροή της διατμήσεως είναι σημαντική. Μ' άλλα λόγια, οι εξεταζόμενες πειραματικώς δοκοί, είναι στοιχεία με προέχουσα διάτμηση.

Οι βρόχοι υστερήσεώς τους, θα παρουσιάζουν επομένως τα χαρακτηριστικά των στοιχείων που αστοχούν σε διάτμηση (στένωση των βρόχων, μείωση της ακαμψίας και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας). Το γεγονός επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα του προπειράματος.

Στις επόμενες παραγράφους υπολογίζουμε αντοχές σε μονοτονική φόρτιση.

4.3. ΚΛΑΣΙΚΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗ ΔΟΚΟΣ

4.3.1. Υπολογισμός ροπής αστοχίας



Από την επιπεδότητα: $x = \left(\frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_{c2} + \epsilon_{s1}} \right) \cdot d$

Μέση θλιπτική τάση: $\sigma_m = \alpha \cdot 0,85 \cdot f_c$

Θέση θλιβόμενης δύναμης: $a = \kappa \cdot x \quad z = d - a$

Εξισώσεις ισοδυναμίας:

$$F_{s1} + F_{sa} + F_{s\beta} = F_c + F_{s2} \quad (4.1)$$

$$M_{Ru} = F_c \cdot z + F_{s2} (d-d_2) - F_{sa} \cdot h_a - F_{s\beta} \cdot h_\beta \quad (4.2)$$

Γίνεται δοκιμαστική εκλογή της εστραμμένης θέσεως της διατομής (ταυτόχρονη διαρροή χάλυβα και σκυροδέματος, $\epsilon_{s1} = 10\%$ $\epsilon_{c2} = 3.5\%$). Υπολογίζονται η θλίβουσα δύναμη F_c και η θέση της καθύψους της διατομής, καθώς και οι δυνάμεις F_{s2} , F_{sa} , $F_{s\beta}$ και F_{s1} που αναλαμβάνουν οι οπλισμοί.

$$F_c = \alpha \cdot 0,85 f_c \cdot x \cdot b$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} \quad F_{sa} = A_{sa} \cdot \sigma_{sa}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \quad F_{s\beta} = A_{s\beta} \cdot \sigma_{s\beta}$$

Ελέγχεται η ισοδυναμία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων (4.1). Η ισοδυναμία δεν επιτυγχάνεται με την πρώτη δοκιμή. Η δοκιμή αυτή βοηθά όμως στον προσδιορισμό του κρίσιμου υλικού. Εκλέγεται νέα θέση εστραμμένης διατομής με εξάντληση της μέγιστης τιμής παραμορφώσεως του κρίσιμου υλικού και τυχαία τιμή παραμορφώσεως για το άλλο. Επαναλαμβάνεται η ως άνω διαδικασία έως ότου ικανοποιηθεί η εξίσωση ισοδυναμίας (4.1). Η ροπή αστοχίας M_{Ru} , υπολογίζεται τότε απο την εξίσωση (4.2).

4.3.2. Υπολογισμός τέμνουσας αστοχίας

Η τέμνουσα δεν αναλαμβάνεται μόνον απο τους προβλεπόμενους οπλισμούς διατμήσεως (συνδετήρες). Σημαντικό της μέρος μεταφέρεται απο το θλιβόμενο πέλμα της διατομής, όπως επίσης και απο άλλους μηχανισμούς, όπως απο τον μηχανισμό της "εμπλοκής των αδρανών" ή της "δράσεως βλήτρου" του διαμήκους οπλισμού.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα:

$$V_{Ru} = V_w + V_c \quad (4.3)$$

όπου:

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 d \cdot f_{yw} \quad (\text{για κατακόρυφους συνδετήρες})$$

και

$$V_c = 2,5 \cdot \tau_R \cdot b \cdot d \quad \text{με} \quad \tau_R = 0,25 f_{ctk}, 0.05 \quad \text{ή} \\ \tau_R = 0,06 \sqrt{f_{ck}}$$

Ο όρος V_w εκφράζει την τέμνουσα που ισορροπείται από την λειτουργία του κορμού ως ιδεατού δικτυώματος, ενώ ο όρος V_c αντιστοιχεί στην τέμνουσα που παραλαμβάνεται από το θλιβόμενο πέγμα και από τους άλλους τρόπους αναλήψεως τέμνουσας.

Γίνεται επίσης ο έλεγχος

$$V_{Ru} \leq V_{R2}$$

όπου:

$$V_{R2} = 0,30 \cdot f_c \cdot b \cdot d \quad (\text{περιορισμός της θλίψεως των διαγωνίων-έλεγχος των διαστάσεων του κορμού})$$

4.4. ΔΟΚΟΣ ΜΕ ΔΙΣΔΙΑΓΩΝΙΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ

4.4.1. Σχόλια

Στις δισδιαγώνια οπλισμένες δοκούς, ο ρόλος του σκυροδέματος είναι σχετικά περιορισμένος. Οι διαγώνιοι οπλισμοί αναλαμβάνουν ολόκληρη την ένταση. Η τελική συμπεριφορά της δοκού καθορίζεται κυρίως από την συμπεριφορά των δύο μεταλλικών στοιχείων (διαγώνιες κρυφοκολώνες), τα οποία αναμένεται να είναι ισοδυνάμως ενεργά σε θλίψη και εφελκυσμό αναλαμβάνοντας τέμνουσα και ροπή.

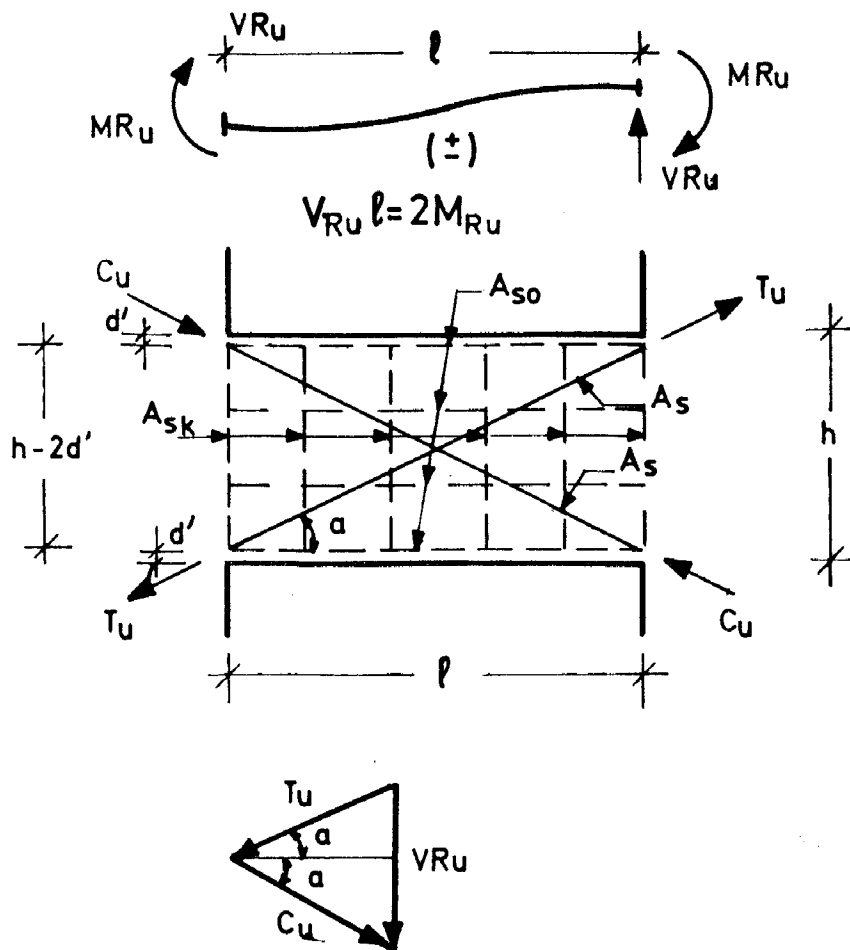
Η ανάλυση και ο υπολογισμός της ροπής και της τέμνουσας αστοχίας, βασίζονται στο προσομοίωμα του Σχ. 4.5.

Πολύ σύντομα ο εφελκυσμένος διαγώνιος οπλισμός θα διαρρεύσει. Οι παραμένουσες - λόγω της διαρροής του - εφελκυστικές παραμορφώσεις θα παρεμποδίσουν το πλήρες κλείσιμο των διαγώνιων ρωγμών που έχουν ήδη δημιουργηθεί. Έτσι, στον επόμενο κύκλο, οι διαγώνιοι οπλισμοί θα παραλάβουν το σύνολο τόσο της θλιπτικής όσο και της εφελκυστικής δύναμης. Για τον λόγο αυτό, στους υπολογισμούς που ακολουθούν δεν λαμβάνονται υπόψη οι οριζόντιοι και κατακόρυφοι κατασκευαστικοί οπλισμοί που υπάρχουν στην δοκό.

4.4.2. Υπολογισμός ροπής αστοχίας

Ισχύουν οι σχέσεις:

$$\begin{aligned} T_u &= C_u = A_s \cdot f_y \\ \tan \alpha &= (h - 2d')/l, \text{ επομένως} \\ M_{Ru} &= A_s \cdot f_y \cdot \cos \alpha (h - 2d') \end{aligned} \quad (4.4)$$



4.4.3. Υπολογισμός τέμνουσας αστοχίας

$$\begin{aligned} V_{Ru} &= 2T_u \sin \alpha, \text{ επομένως} \\ V_{Ru} &= 2A_s f_y \sin \alpha \end{aligned} \quad (4.5)$$

Η ροπή αστοχίας μπορεί να υπολογισθεί ακόμη:

$$\begin{aligned} M_{Ru} &= V_{Ru} \cdot l/2, \text{ επομένως} \\ M_{Ru} &= A_s \cdot f_y \cdot l \cdot \sin \alpha / 2 \end{aligned} \quad (4.6)$$

4.4.4. Κατασκευαστικοί οπλισμοί

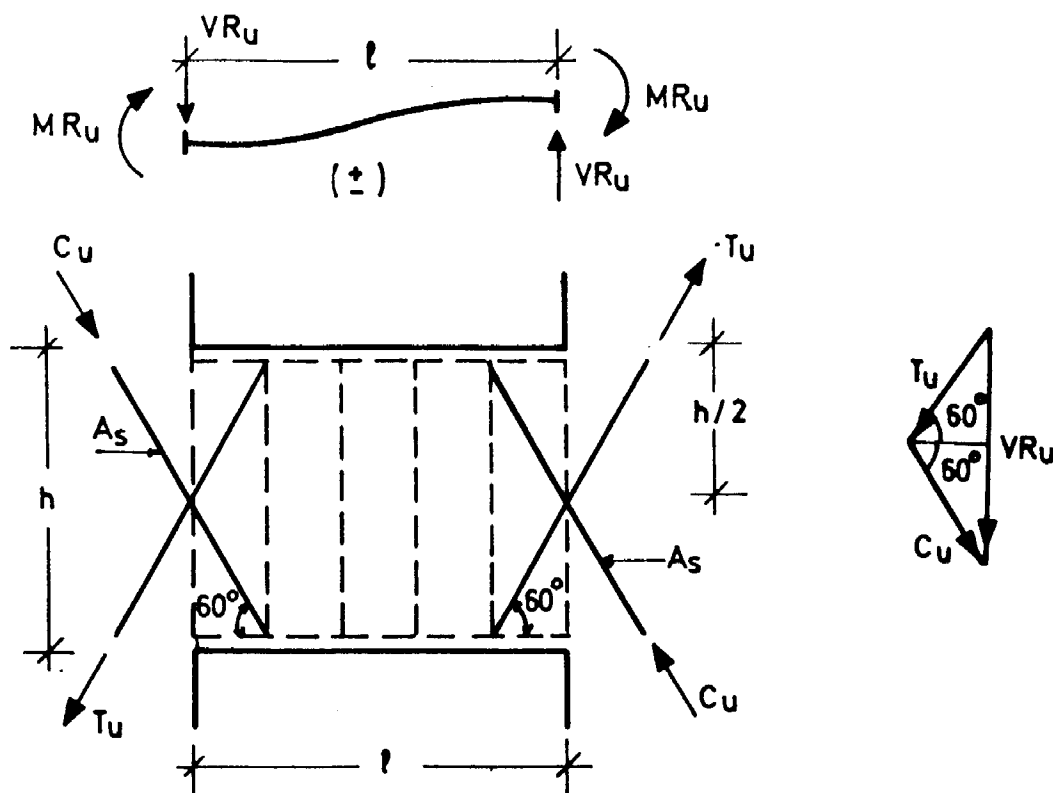
Προτείνεται κατασκευαστικός οπλισμός αποτελούμενος από μικρής διαμέτρου οριζόντιους οπλισμούς (A_{so}) και στις δύο παρειές της δοκού και κλειστούς κατακόρυφους συνδετήρες (A_{sk}), που να δίνουν ποσοστό οπλισμού τουλάχιστον ίσο με 2,5% σε κάθε διεύθυνση.

Για την αποφυγή του λυγισμού του εκάστοτε θλιβόμενου στοιχείου προτείνεται η τοποθέτηση κλειστών συνδετηρών σε αποστάσεις $s = 5\phi_L$ όπου ϕ_L η ελάχιστη διάμετρος των διαγώνιων ράβδων.

4.5.- ΔΟΚΟΣ ΜΕ ΧΙΑΣΤΙ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΣΤΙΣ ΠΑΚΤΩΣΕΙΣ

4.5.1. Σχόλια - κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Οι "χιαστί" οπλισμοί διασταυρώνονται υπο γωνία 60° στο μέσον του πάχους και του ύψους της διατομής πακτώσεως της δοκού. Η επιλογή μεγάλης γωνίας (60°) έγινε ώστε στις κρίσιμες διατομές των άκρων της δοκού, οι "χιαστί" ράβδοι να περνάνε κάπως πλησιέστερα στις εισέχουσες γωνίες (όπου και η συγκέντρωση των δυνάμεων).



Σχ. 4.6

Οι χιαστί οπλισμοί εξασφαλίζουν έναντι διατμητικής ολισθήσεως στα άκρα της δοκού. Ταυτόχρονα τοποθετούνται και κλειστοί κατακόρυφοι συνδετήρες για να εξασφαλισθεί η μεταφορά της τέμνουσας μέσω του σώματος της δοκού. Οι χιαστί οπλισμοί δεν προκαλούν αύξηση της δυναμένης να αναληφθεί ροπής (το σημείο τομής τους κείται επάνω στο άκρο της δοκού) και έτσι η εμφάνιση μιας ενδεχόμενης καμπτικής (πλάστιμης) αστοχίας δεν παρεμποδίζεται.

4.5.2. Υπολογισμός ροπής αστοχίας

Στην αντοχή της διατομής σε κάμψη συμβάλλουν μόνον οι διαμήκεις (οριζόντιοι) οπλισμοί. Ο υπολογισμός της ροπής αστοχίας γίνεται με την διαδικασία που εφαρμόζεται στις διπλά οπλισμένες διατομές οπλισμένου σκυροδέματος (βλέπε σελ. 50).

4.5.3. Υπολογισμός της τέμνουσας αστοχίας

Ο έλεγχος της δοκού σε τέμνουσα γίνεται μέσω της ικανοποίησεως των δύο ακόλουθων κριτηρίων:

α) Κριτήριο αποφυγής διατμητικής ολισθήσεως στα άκρα της δοκού:

$$V \neq V_{Rx} \quad (4.7)$$

και

β) Κριτήριο για την μεταφορά της τέμνουσας μέσω του σώματος της δοκού:

$$V \neq V_{Rw} \quad (4.8)$$

όπου:

V = η δρώσα τέμνουσα δύναμη

V_{Rx} = η τέμνουσα που παραλαμβάνεται από τους χιαστί οπλισμούς

V_{Rw} = η τέμνουσα που παραλαμβάνεται από τους συνδετήρες, το θλιβόμενο πέγμα και τους άλλους τρόπους αναλήψεως τέμνουσας στο σώμα της δοκού.

Από το Σχ. 4.6 έχουμε:

$$T_u = C_u = A_s \cdot f_y$$

$$V_{Rx} = 2T_u \cdot \sin 60 \text{ επομένως,}$$

$$V_{Rx} = 2 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \sin 60 \quad (4.9)$$

ενώ

$$V_{Rw} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9d \cdot f_{yw} + 2,5 \tau_R \cdot b \cdot d \quad (4.10)$$

Σε πρώτη προσέγγιση μπορεί να ληφθεί ότι οι δύο μηχανισμοί αναλήψεως τέμνουσας (χιαστοί οπλισμοί, συνδετήρες+θλιβόμενο πέγμα+άλλοι τρόποι), δεν δρουν αθροιστικά: Στις παρειές της δοκού, η τέμνουσα παραλαμβάνεται μόνον από τους χιαστί οπλισμούς ενώ στο σώμα της δοκού η τέμνουσα ισορροπείται μόνον από τους συνδετήρες και τους υπόλοιπους μηχανισμούς.

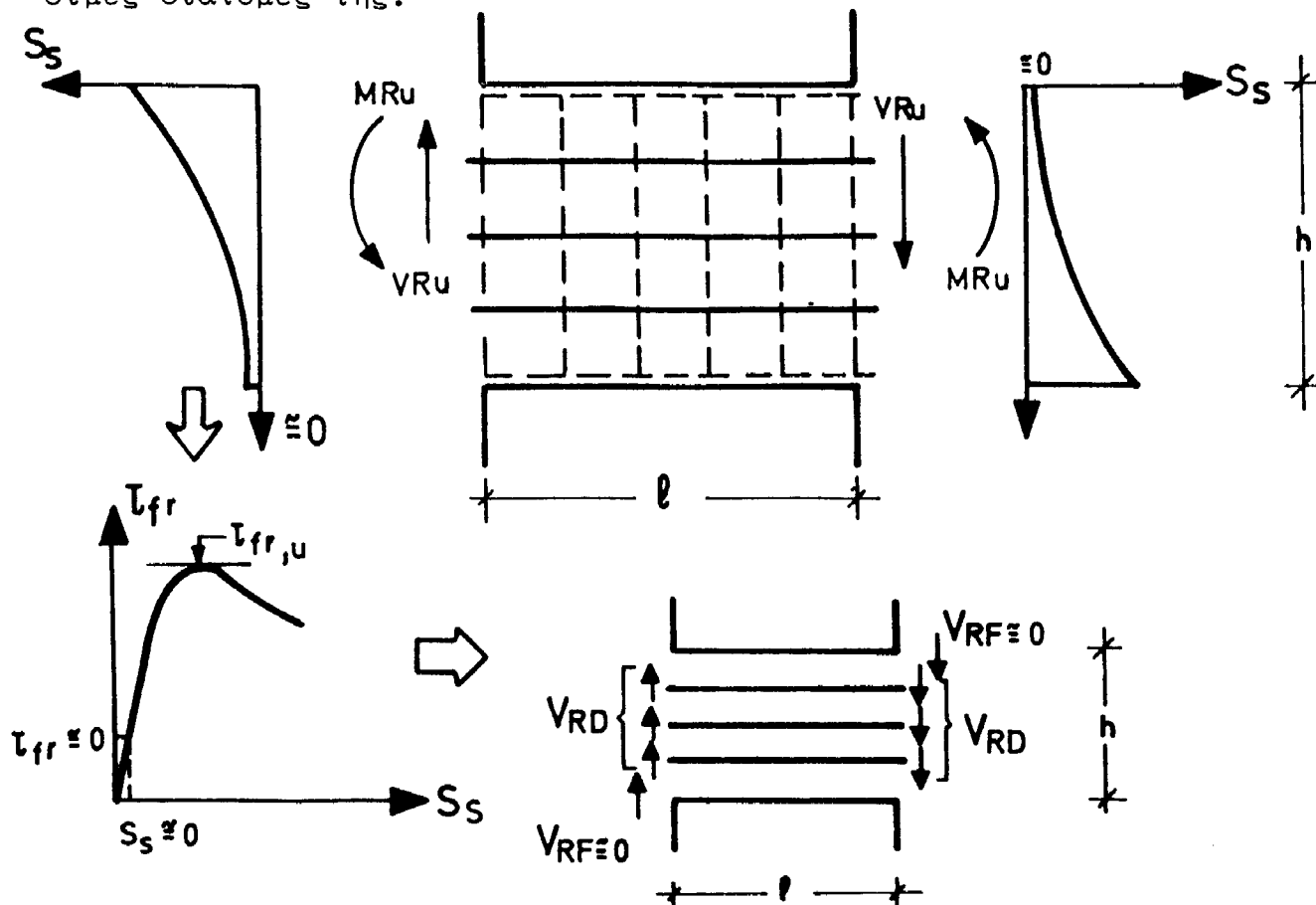
Δηλαδή: $V_{Ru} = V_{Rx}$ στις παρειές της δοκού, και

$V_{Ru} = V_{Rw}$ στο σώμα της δοκού

4.6. ΔΟΚΟΣ ΜΕ "ΒΛΗΤΡΑ-ΣΦΙΓΚΤΗΡΕΣ" ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ

4.6.1. Σχόλια

Η τοποθέτηση βλήτρων^(*) έχει σκοπό την ανάληψη της τέμνουσας στα άκρα της δοκού μέσω δράσεων βλήτρου. Αποτρέπεται έτσι αστοχία της δοκού με εμφάνιση διατμητικών ολισθήσεων στις κρίσιμες διατομές της.



ΣΧ. 4.7

Εξάλλου, όπως είναι γνωστό, μια διεπιφάνεια σκυροδέματος η οποία υπόκειται σε θλιπτική τάση μπορεί να αναλάβει διατμητική δύναμη με την ενεργοποίηση του μηχανισμού τριβής.

Η διατμητική ολίσθηση στην διεπιφάνεια δοκού-τοιχώματος, δεν είναι σταθερή καθ' ύψος της διατομής (Σχ. 4.7): Είναι πρακτικά μηδενική στην περιοχή της διατομής όπου επενεργεί η θλίβουσα

(*) Δράση βλήτρου του οπλισμού είναι εκείνος ο μηχανισμός μέσω του οποίου οι ράβδοι μεταφέρουν δύναμη κάθετη προς την διεύθυνση του άξονά τους

δύναμη (βλέπε και Σχ. 4.3). Έτσι, οι εκεί επιστρατευόμενες τάσεις τριβής είναι πολύ μικρές (Σχ. 4.7). Είναι επομένως λογικό να θεωρήσουμε ότι στην διεπιφάνεια δοκού τοιχώματος ο μηχανισμός τριβής δεν ενεργοποιείται πολύ και επομένως, ολόκληρη η τέμνουσα αναλαμβάνεται μέσω των δράσεων βλήτρου.

Για την μεταφορά της τέμνουσας μέσω του σώματος της δοκού συζεύξεως τοποθετούνται κλειστοί κατακόρυφοι συνδετήρες (λειτουργία κορμού ως δικτυώματος + άλλοι μηχανισμοί αναλήψεως τέμνουσας).

Οι ράβδοι-βλήτρα συνεισφέρουν στην αντοχή της δοκού σε κάμψη.

4.6.2. Υπολογισμός ροπής αστοχίας

Υπολογίζεται όπως και στην κλασικά οπλισμένη δοκό. Λαμβάνεται υπόψη και η παρουσία των ράβδων-βλήτρων.

4.6.3. Υπολογισμός τέμνουσας αστοχίας

Ο έλεγχος της δοκού γίνεται με την ικανοποίηση των δύο ακόλουθων κριτηρίων:

α) Κριτήριο αποφυγής διατμητικής ολισθήσεως στα άκρα της δοκού:

$$V \nless V_{RD} \quad (4.11)$$

β) Κριτήριο για την μεταφορά της τέμνουσας μέσω του σώματος της δοκού:

$$V \nless V_{RW} \quad (4.12)$$

όπου,

V = η δρώσα τέμνουσα δύναμη

V_{RD} = η διατμητική αντοχή λόγω δράσεων βλήτρου

V_{RW} = η τέμνουσα που παραλαμβάνεται από τους συνδετήρες, το θλιβόμενο πέλμα και τους άλλους τρόπους αναλήψεως τέμνουσας στο σώμα της δοκού.

$$V_{RD} = \sum_{i=1}^n D_u \quad (4.13)$$

$$D_u = 1,30 \cdot d_b^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot f_{sy}} \quad (\text{mm}, \text{N/mm}^2) \quad (4.13.1)$$

όπου,

n = ο αριθμός των ράβδων-βλήτρων

d_b = η διάμετρος των βλήτρων

$$V_{RW} = 2.5 \tau_R \cdot b \cdot d + \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9d \cdot f_{yw} \quad (4.14)$$

Η τιμή της δράσεως βλήτρου της σχέσεως (4.13.1) ισχύει για τύπο αστοχίας I (σύνθλιψη σκυροδέματος + διαρροή βλήτρου) ο οποίος και αναμένεται να εμφανισθεί. Με την σχέση (4.13) δεχόμαστε πλήρη ενεργοποίηση του μηχανισμού δράσεως βλήτρου παρά την ανομοιόμορφη κατανομή των διατμητικών ολισθήσεων καθ ύψος της διατομής.

4.6.4. Δράση σφικτήρα

Με την "ολομήκη" διάταξη αυτών των ράβδων-βλήτρων αναμένεται και μια άλλη σταθεροποιητική δράση: Χάρη στην "διόγκωση" της δοκού (παραμένουσες ανοιχτές ρωγμές), αυτές οι ράβδοι θα εφελκυσθούν. Επομένως, για λόγους ισορροπίας θα επιβάλλουν ισόποση θλιπτική οριζόντια δύναμη σε όλο το μήκος της δοκού. Έτσι αναμένονται δύο ακόμα θετικές επιδράσεις:

- α) Αύξηση της αντιστάσεως τριβής στις θέσεις πακτώσεως
- β) Επιβράδυνση της αποσυνθέσεως της δοκού μετά τις πολλαπλές δισδιαγώνιες ρηγματώσεις (με αντίστοιχη αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας).

4.6.5. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Τα βλήτρα τοποθετούνται στο μέσον του πάχους της δοκού για να εξασφαλισθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πλευρική επικάλυψη. Στην κατεύθυνση αναλήψεως της διατμητικής δυνάμεως τα βλήτρα πρέπει να διαθέτουν επικάλυψη $c > 8d_b$.

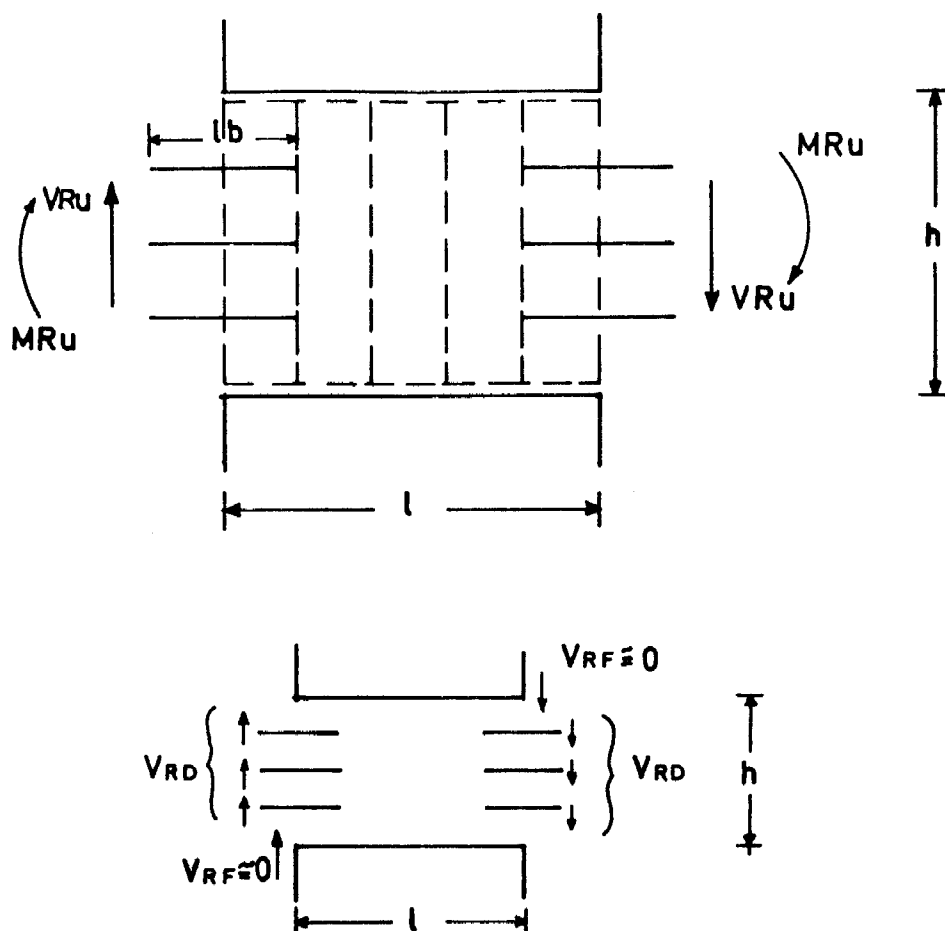
Στα δοκίμια της κατηγορίας A η επικάλυψη στην κατεύθυνση της τέμνουσας ήταν $c = 4.5d_b$, ενώ στα δοκίμια της κατηγορίας B ήταν $c = 4 \cdot d_b$. Και στις δύο κατηγορίες δοκιμών επιδιώχθηκε μια κατά το δυνατόν ομοιόμορφη (σε ίσες περίπου μεταξύ τους αποστάσεις) τοποθέτηση των βλήτρων καθ ύψος της διατομής.

4.7.- ΔΟΚΟΣ ΜΕ ΚΟΝΤΑ ΒΛΗΤΡΑ ΣΤΙΣ ΠΑΚΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ

4.7.1. Σχόλια

Ισχύουν όσα έχουν αναφερθεί στον προηγούμενο τρόπο οπλίσεως (δοκός με βλήτρα-σφικκτήρες σε όλο το μήκος της). Για την ενεργοποίηση του μηχανισμού βλήτρου το μήκος του βλήτρου στο σώμα του σκυροδέματος θα πρέπει να είναι:

$$l_b \geq 12 d_b$$



ΣΧ. 4.8

Το βλήτρο τοποθετείται στο μέσον του πάχους της δοκού και σε μήκη $l_b/2$ εκατέρωθεν της νοητής γραμμής που ορίζει το άκρο της. Θεωρούμε πλήρη ανάπτυξη του μηχανισμού δράσεως βλήτρου, μιάς και λίγα χιλιοστά διατμητικής μετακινήσεως αρκούν για να ενεργοποιηθεί πλήρως η αντοχή του βλήτρου.

Σε αντίθεση με τον προηγούμενο τρόπο οπλίσεως, τα βλήτρα δεν συμβάλλουν στην αντοχή της δοκού σε κάμψη, ούτε δρουν ως σφικκτήρες.